

Graulich, Nicole [Hrsg.]; Huwer, Johannes [Hrsg.]; Banerji, Amitabh [Hrsg.]
Digitalisation in chemistry education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie

Münster ; New York : Waxmann 2021, 171 S.



Quellenangabe/ Reference:

Graulich, Nicole [Hrsg.]; Huwer, Johannes [Hrsg.]; Banerji, Amitabh [Hrsg.]: Digitalisation in chemistry education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie. Münster ; New York : Waxmann 2021, 171 S. - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-228011 - DOI: 10.25656/01:22801

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-228011>

<https://doi.org/10.25656/01:22801>

in Kooperation mit / in cooperation with:



WAXMANN
www.waxmann.com

<http://www.waxmann.com>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. der Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Die neu entstandenen Werke bzw. Inhalte dürfen nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergegeben werden, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch oder vergleichbar sind.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

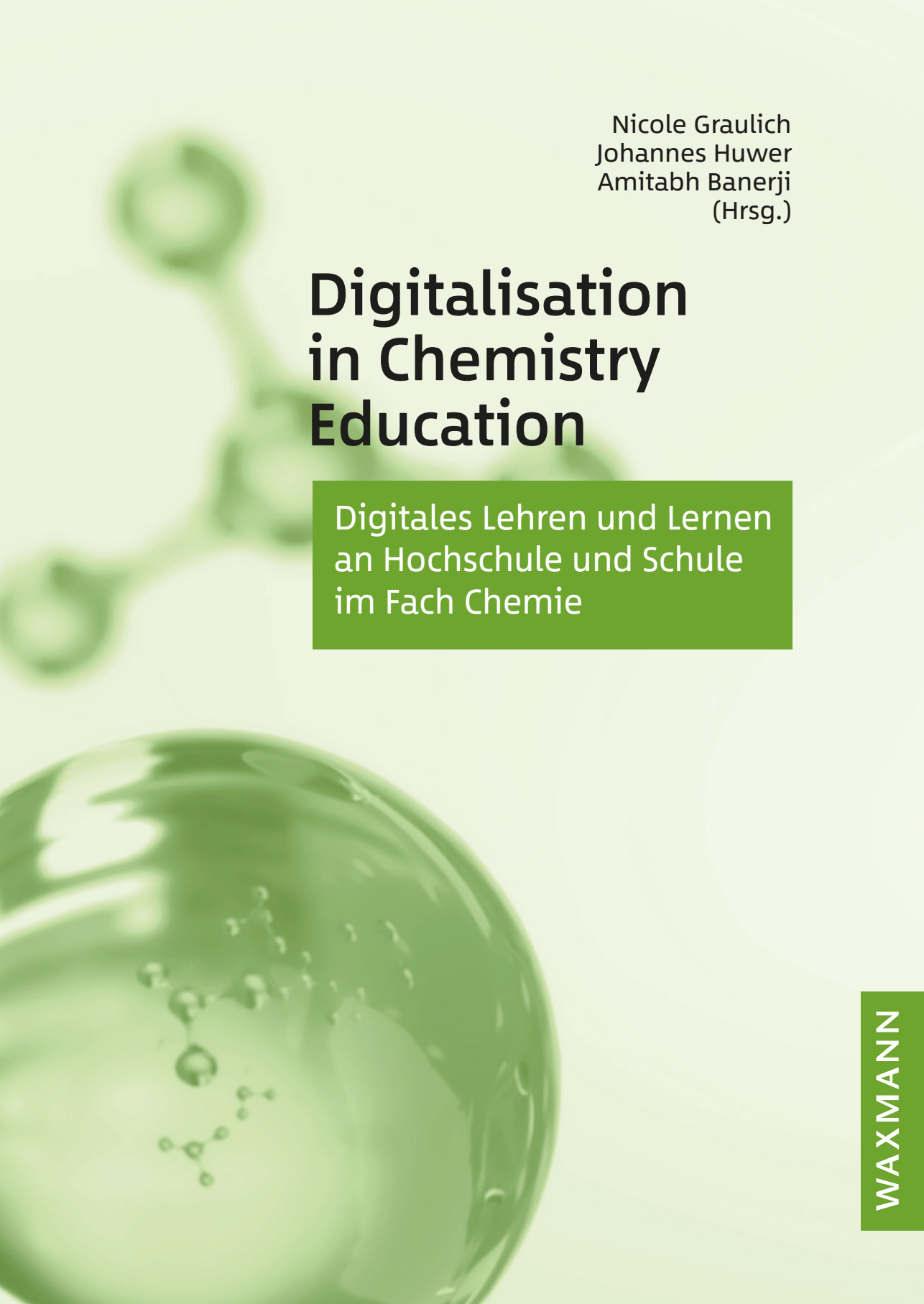
This document is published under following Creative Commons-License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public and alter, transform or change this work as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work. If you alter, transform, or change this work in any way, you may distribute the resulting work only under this or a comparable license.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de



Nicole Graulich
Johannes Huwer
Amitabh Banerji
(Hrsg.)

Digitalisation in Chemistry Education

Digitales Lehren und Lernen
an Hochschule und Schule
im Fach Chemie

WAXMANN

Nicole Graulich, Johannes Huwer
und Amitabh Banerji (Hrsg.)

Digitalisation in Chemistry Education

Digitales Lehren und Lernen an
Hochschule und Schule im Fach Chemie



Waxmann 2021
Münster · New York

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-8309-4418-8

E-Book-ISBN 978-3-8309-9418-3

<https://doi.org/10.31244/9783830994183>

Das E-Book ist unter der Lizenz CC-BY-NC-SA open access verfügbar.



Waxmann Verlag GmbH, 2021

www.waxmann.com

info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Anne Breitenbach, Münster

Umschlagabbildung: © Anusorn Nakdee – shutterstock.com

Satz: Stoddart Satz- und Layoutservice, Münster

Inhalt

Vorwort zum DiCE-Tagungsband	7
Abstracts	9
<i>Monique Meier, Lars-Jochen Thoms, Sebastian Becker, Alexander Finger, Erik Kremser, Johannes Huwer, Lena von Kotzebue, Till Bruckermann und Christoph Thyssen</i>	
Digitale Transformation von Unterrichtseinheiten – DiKoLAN als Orientierungs- und Strukturierungshilfe am Beispiel Low-Cost- Photometrie mit dem Smartphone	13
<i>Hanne Rautenstrauch</i>	
Der Kerzenfahrstuhl 2.0 – Ein Umsetzungsbeispiel aus dem Lehrprojekt ProMeC	29
<i>Vanessa Lang, Johann Seibert und Christopher W. M. Kay</i>	
Digitally Embedded Tools (DET) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in der Lehrer*innenbildung.....	35
<i>Liz Keiner, Heiko Barth und Nicole Graulich</i>	
Umsetzung eines Laborpraktikums für Lehramtsstudierende während einer Pandemie – ein Erfahrungsbericht.....	43
<i>Manuel Krug, Valerie Czok, Holger Weitzel, Wolfgang Müller und Johannes Huwer</i>	
Gestaltungsparameter für Lehr-Lernszenarien mit Augmented-Reality- Anwendungen im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Review.....	51
<i>Claudia Bohrmann-Linde und Diana Zeller</i>	
Videos in der chemiedidaktischen Lehre – von der Rezeption zur Produktion.....	59
<i>Sabrina Syskowski</i>	
Digitales Lehr-Lern-Labor „makeScience!“ der PHKA Entwicklung hin zu einem digitalen Lehr-Lern-Labor	71
<i>Lukas Groos und Nicole Graulich</i>	
Diagnose von Experimentierverhalten im Labor zur Erstellung zielgruppenorientierter digitaler Experimentierumgebungen.....	81

<i>Hilko Aljets und Thomas Waitz</i> ARchitect – Personalisierte Augmented Reality Apps ohne Programmierkenntnisse	89
<i>Julia Werthmüller und Markus PrechtI</i> Erschließung des Konzepts Digitalität durch Internet-Challenges	95
<i>Ute Brinkmann, Ulla Stubbe und Markus PrechtI</i> MINT-Berufsorientierung mit dem computerunterstützten DiSenSu-Tool	101
<i>Christof Probst, Dennis Wendt, Sarah Lukas und Johannes Huwer</i> Mit Hilfe von Augmented Reality das Schalenmodell einführen und erarbeiten	109
<i>Diana Zeller und Claudia Bohrmann-Linde</i> #medialab@home: Online-Fortbildungsreihe zum Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht	121
<i>Markus PrechtI</i> Visuelles Storytelling mit einem Hybrid aus analoger Paper-Cut-Out- Technik und digitaler Comic-Gestaltung im Lehramt Chemie	127
<i>Rebecca Grandrath und Claudia Bohrmann-Linde</i> E-Book-flankiertes Experimentalkonzept zu mikrobiellen Brennstoffzellen in der Sekundarstufe II	133
<i>Mats Kieserling und Insa Melle</i> Wirkungen einer Tablet-basierten Lernumgebung zum Thema Stofftrennung – eine Vergleichsstudie	143
<i>Amitabh Banerji und Lisa Bellin</i> Lab@Home – Chemieunterricht ganz in Distanz	153
Autorinnen und Autoren.....	165

Vorwort zum DiCE-Tagungsband

Die Digitalisierung hat große Teile unseres Alltags verändert. Diese gesellschaftliche Transformation, unterstützt durch die Corona-Pandemie, hat nicht nur vermehrt Investitionen der Wirtschaft in digitale Infrastruktur angestoßen, sondern auch den Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern maßgeblich beeinflusst. Um jedoch diesen Mehrwert für den Chemieunterricht nachhaltig nutzen zu können, bedarf es didaktischer Konzepte, Handlungsanweisungen zum konkreten Einsatz digitaler Medien und Konzepte für die Professionalisierung von Lehrkräften im Bereich der Digitalisierung.

Der Austausch über neue Möglichkeiten und digitalen Chemieunterricht war im ersten Jahr der Corona-Pandemie 2020 aufgrund des Wegfalls von wissenschaftlichen Tagungen nur schwer möglich, aber dringend nötig. Auch die geplante Jahrestagung der GDCh Fachgruppe Chemieunterricht 2020 wurde coronabedingt abgesagt.



Ein regelmäßiger Austausch über Konzepte rund um die Digitalisierung fand aber innerhalb der neu gegründeten Arbeitsgruppe DiCE (Digitalisation in Chemistry Education, <http://www.gdch.de/dice>) statt. Die AG DiCE hatte sich 2019 aus der FGCU heraus gebildet und bestand zu dem Zeitpunkt aus etwa 26 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und vier Lehrkräften. Zu Beginn der Pandemie trafen wir uns im zweiwöchigen Rhythmus in Online-Konferenzen und tauschten uns über unsere Erfahrungen und Probleme mit der digitalen Lehre aus.

Schnell kam die Idee auf, dieses Format für alle Interessierten zu öffnen und eine Online-Tagung zu veranstalten: die „DiCE 2020“ war geboren, welche am 28.10.2020 stattfand. Die Leitmotive der Tagung waren klar:

- *digitales Format*: garantierte den niederschweligen Zugang für alle.
- *eintägige Veranstaltung*: Der zeitliche Aufwand zur Teilnahme war gering. Morgens standen Konzepte der Lehrkräfteprofessionalisierung an der Universität im Vordergrund, während nachmittags Konzepte für den schulischen Chemieunterricht diskutiert wurden. Somit war es auch Lehrkräften möglich, die Tagung in ihren Schulalltag zu integrieren.
- *kostenlose Tagung*: Die Teilnahme war kostenlos, sodass sich mögliche finanzielle Einschränkungen der Pandemie nicht auswirken sollten.

Mehr als 200 Teilnehmer*innen besuchten die DiCE 2020, etwa die Hälfte davon waren Lehrkräfte. Der große Erfolg der Tagung zeigte sich nicht zuletzt in der sehr positiven Gesamtevaluation.

In diesem Tagungsband haben wir hochwertige Tagungsbeiträge ausgewählt, die über ein internes Peer-Review-Verfahren zusammengestellt wurden (d.h., jeder Beitrag wurde von zwei Gutachterinnen und Gutachtern geprüft). Darin berichten die Autorinnen und Autoren rund um Themen der Digitalisierung in Bezug auf das naturwissenschaftliche bzw. chemische Lehren und Lernen.

Abschließend möchten wir unseren Dank der Joachim Herz Stiftung, dem Fonds der chemischen Industrie sowie der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh für die großzügige Unterstützung bei der Finanzierung der Tagung und damit verbunden auch für diesen Tagungsband aussprechen. Weiterhin möchten wir den vielen Autorinnen und Autoren der Beiträge für ihre Mühen sowohl beim Einreichen als auch bei der Begutachtung der Beiträge danken, welche die Zusammenstellung des Tagungsbandes möglich gemacht haben.

Wir hoffen, dass der Band Chemie- und Naturwissenschaftslehrkräfte und deren Didaktiken an Hochschulen anregt, Konzepte auszuprobieren, zu adaptieren und weiterzuentwickeln, um den Chemieunterricht des 21. Jahrhunderts zu gestalten.



Prof. Dr. Nicole Graulich
Universität Gießen



Prof. Dr. Johannes Huwer
Universität Konstanz



Prof. Dr. Amitabh Banerji
Universität Potsdam

Abstracts

01 Digitale Transformation von Unterrichtseinheiten – DiKoLAN als Orientierungs- und Strukturierungshilfe am Beispiel Low-Cost-Photometrie mit dem Smartphone

Mit entsprechenden Kompetenzen können Lehrkräfte einzelne funktionale Elemente des Unterrichts digitalisieren – bis hin zu einer Transformation in ein vollständig digitales Lehr-Lernkonzept. Dies wird am Beispiel einer Unterrichtskonzeption zur photometrischen Konzentrationsbestimmung verdeutlicht, indem klassische, weitgehend analoge und digitale Realisierungsmöglichkeiten für einzelne Unterrichtsphasen systematisch einander gegenübergestellt werden.

02 Der Kerzenfahrstuhl 2.0 – Ein Umsetzungsbeispiel aus dem Lehrprojekt ProMeC

Hinter ProMeC verbirgt sich ein neues Lehrkonzept zu digitalen Medien im Fach Chemie, welches verschiedene Fachdidaktikveranstaltungen des Lehramtsstudiengangs einbezieht. Die Studierenden sollen so zum kumulativen Aufbau eines technologiebezogenen fachdidaktischen Wissens (TPCK) während ihres gesamten Studiums angeregt werden. In dem Beitrag wird ein Experiment aus dem Projekt vorgestellt, anhand dessen der sinnstiftende Einsatz digitaler Messsensoren thematisiert und reflektiert werden kann.

03 Digitally Embedded Tools (DET) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in der Lehrer*innenbildung

Im Rahmen des Projekts Digitally Embedded Tools (DET) werden alle drei Phasen der Lehrkräftebildung mit digitalisierungsbezogenen Aspekten, angelehnt an den Kompetenzrahmen DigCompEdu, angereichert. Dazu werden ein curricular verankertes Seminar für die erste und eine entsprechende Fortbildungsreihe für die zweite und dritte Phase konzipiert. Die Ergebnisse eines ersten Seminardurchlaufs werden präsentiert und reflektiert.

04 Umsetzung eines Laborpraktikums für Lehramtsstudierende während einer Pandemie – ein Erfahrungsbericht

Aufgrund der COVID-19-Pandemie sind digitale Lehr- und Lernformate von großer Bedeutung. Insbesondere laborpraktische Arbeiten sind hart von der Pandemie betroffen und nur schwer durch Online-Formate zu ersetzen. Um Studierenden dennoch ein möglichst realitätsnahes Laborpraktikum zu bieten, wurde unsere Blended-Learning-Umgebung an die aktuelle Situation angepasst und mit einem Online-Labor zu chemischen Schulversuchen erweitert.

05 Gestaltungsparameter für Lehr-Lernszenarien mit Augmented-Reality-Anwendungen im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Review

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Anwendung von Augmented Reality (AR) in Lehr-Lernszenarien, deren Bedeutung in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Trotz der vielfachen Erwähnung positiver Effekte wurde bisher kaum erforscht welche „Eigenschaften“ AR-gestützter Lehr-Lernszenarien hierfür verantwortlich sind. Der Beitrag soll daher anhand eines Literaturreviews einen Vorschlag für mögliche Gestaltungsparameter in naturwissenschaftlichen Lehr-Lernszenarien machen.

06 Videos in der chemiedidaktischen Lehre – von der Rezeption zur Produktion

Digitale Medien in Form von Präsentationen und Animationen finden seit Jahrzehnten Einsatz für Lehr-/Lernprozesse im MINT-Bereich. Insbesondere im Alltag sind Videos von Lernenden hoch akzeptierte Informationsmedien. Im Beitrag werden verschiedene Szenarien vorgestellt, in denen Videos im Bildungskontext im Chemie- bzw. Sachunterrichtsstudium an der Universität Wuppertal mit verschiedenen Funktionen und unterschiedlich intendierter Art der Auseinandersetzung eingesetzt bzw. produziert wurden.

07 Digitales Lehr-Lern-Labor „makeScience!“ der PHKA

Aufgrund der Corona-Situation wurde das Seminarkonzept des Lehr-Lern-Labors „makeScience“ für die digitale Lehre transformiert und empirisch begleitet. Dieser Rahmen ermöglichte 18 Studierenden von den Pädagogischen Hochschulen Karlsruhe und Heidelberg angeleitet digitale Unterrichtseinheiten mit Schüler*innen zu planen, durchzuführen und zu reflektieren. Den Schüler*innen konnte so eine Unterrichtseinheit außerhalb ihres Homeschooling-Alltags ermöglicht werden.

08 Diagnose von Experimentierverhalten im Labor zur Erstellung zielgruppenorientierter digitaler Experimentierumgebungen

Mit interaktiven Videoexperimenten können Lernende selbständig und realitätsnah den Verlauf von Experimenten von zuhause bestimmen. Zur Anpassung der Experimentierumgebung an die Zielgruppe wurden Lernende bei der Durchführung eines Experimentes videografiert sowie deren Handlungen grafisch dargestellt und digital implementiert. Der Beitrag gibt Einblicke in die zielgruppenorientierte Gestaltung interaktiver Videoexperimente.

09 ARchitect – Personalisierte Augmented Reality Apps ohne Programmierkenntnisse

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) im Bildungsbereich hat einige Vorteile, wie zahlreichen Studien zeigen. Das eigene Erstellen und individuelle Anpassen von AR-Apps ist bisher jedoch entweder nicht kostenlos und frei möglich oder

sehr beschränkt. In diesem Beitrag wird eine Routine vorgestellt, mit dem in Zukunft einfach eigene Apps entwickelt werden können, ohne Programmierkenntnisse besitzen zu müssen. Das dazu entwickelte Programmpaket ARchitect wird anhand eines Beispiels vorgestellt.

10 Erschließung des Konzepts Digitalität durch Internet-Challenges

Internet-Challenges werden in diesem Beitrag mit Bezug zur Digitalität als aktuelle mediale Handlungspraxis beschrieben. Hierbei werden die drei Charakteristika der Digitalität – Referenzialität, Gemeinschaftlichkeit und Algorithmizität – als Rahmung verwendet. Es wird dabei auf Interviews mit Lehrkräften, die mit der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet wurden, eingegangen. Es schließt sich eine Fürsprache für eine intensive Auseinandersetzung mit Digitalität in der Lehrer*innenbildung an.

11 MINT-Berufsorientierung mit dem computerunterstützten DiSenSu-Tool

Im Rahmen des Projekts DiSenSu (www.disensu.de) fanden computerunterstützte Berufsorientierungscoachings statt. Das Tool bietet eine diversitysensible Unterstützung beim Coaching und bereitet die Daten für den/die Coach*in auf. Es dient zur Datenerfassung und führt durch die praktischen Übungen des Coachings: Präferenzrangliste zu Berufsaspekten, Übung zum räumlichen Denken und haptische Übung mit einer Pipette. Die Nutzung des Tools bildet den Schwerpunkt dieses Beitrages.

12 Mit Hilfe von Augmented Reality das Schalenmodell einführen und erarbeiten

Vorgestellt wird eine Augmented-Reality-Lehr-Lernumgebung zur dreidimensionalen Animation und Darstellung von Atomen im Schalenmodell. Diese Lehr-Lernumgebung wurde in einer neunten Klasse einer Realschule hinsichtlich der vorhandenen Vorstellungen auf der Teilchenebene untersucht. Ferner wurden die Motivation, schulische Selbstwirksamkeitserwartung und der Wissenserwerb der Schülerinnen und Schülern evaluiert.

13 #medialab@home: Online-Fortbildungsreihe zum Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht

Um Chemielehrkräfte in der COVID-19-Krise bei der Vorbereitung eines digitalen Distanzunterrichts und Gestaltung eigener Lehr-Lern-Materialien zu unterstützen, wurde an der Chemiedidaktik Wuppertal eine fünfteilige Online-Lehrkräftefortbildungsreihe #medialab@home durchgeführt. Im Artikel werden Ziele, die Konzeption und die Umsetzung dieser Fortbildungsreihe vorgestellt, um anschließend auf ausgewählte Aspekte der Befragung der teilnehmenden Lehrkräfte einzugehen.

14 Visuelles Storytelling mit einem Hybrid aus analoger Paper-Cut-Out-Technik und digitaler Comic-Gestaltung im Lehramt Chemie

Im Beitrag wird dargelegt, wie mit einem Hybrid aus analoger Paper-Cut-Out-Technik und digitaler Sachcomic-Gestaltung eine Lerngelegenheit für Lehramtsstudierende geschaffen wird, in der die Planung von Chemieunterricht, Kontextualisierungen und Digitalität am Beispiel der Potenziale von Visualisierungen reflektiert werden können.

15 E-Book-flankiertes Experimentalkonzept zu mikrobiellen Brennstoffzellen in der Sekundarstufe II

In dem Beitrag wird das Lernarrangement für die Sekundarstufe II vorgestellt. Im Fokus steht dabei die didaktische Konzeption des Arrangements sowie der Aufbau und die Funktionalität des zugehörigen E-Books in Experimentiersituationen. Neben Eindrücken der praktischen Erprobung schließt sich die Vorstellung optional einsetzbarer Videos zu aktueller Forschung im Bereich mikrobieller Brennstoffzellen an.

16 Wirkungen einer Tablet-basierten Lernumgebung zum Thema Stofftrennung – eine Vergleichsstudie

Zum Thema Stofftrennung wurden digitale Unterrichtsmaterialien in Form eines iBooks und inhaltsgleiche analoge Materialien in Form von klassischen Arbeitsheften entwickelt und evaluiert. Die Konzeption der Unterrichtsmaterialien erfolgte gemäß dem aus den USA stammenden Konzept des Universal Design for Learning, einem Ansatz zur Gestaltung eines gemeinsamen bzw. inklusiven Unterrichts. Analysiert werden u. a. das Fachwissen, die Attraktivität und der Cognitive Load.

17 Lab@Home – Chemieunterricht ganz in Distanz

Im Lehrprojekt Lab@Home der Universität Potsdam haben Lehramtsstudierende Videotutorials zu chemischen Experimenten mit Alltagsmaterialien entwickelt. Die Videos richten sich an Chemielehrer*innen und Schüler*innen, um diese im Distanzunterricht zu unterstützen. Im Beitrag wird kurz auf den theoretischen Hintergrund zu Lernvideos eingegangen und das Projekt Lab@Home exemplarisch an einem Video zum Thema Wasserstoff vorgestellt.

*Monique Meier, Lars-Jochen Thoms, Sebastian Becker, Alexander Finger,
Erik Kremser, Johannes Huwer, Lena von Kotzebue, Till Bruckermann
und Christoph Thyssen*

Digitale Transformation von Unterrichtseinheiten – DiKoLAN als Orientierungs- und Strukturierungshilfe am Beispiel Low-Cost-Photometrie mit dem Smartphone

1. Einleitung

Der Einfluss der Covid-19-Pandemie auf die Digitalisierung der schulischen Bildung zeigt sich nicht nur in den nun sichtbar gewordenen Defiziten und Versäumnissen der vergangenen Jahre und entsprechenden Ansätzen zu akuten Problemlösungen. Die Veränderung des Unterrichts spiegelt sich unter anderem auch im sprachlichen Wandel des Verständnisses des Begriffs „Homeschooling“ wider. Trotz einer Vielzahl vorhandener Begriffe zur Beschreibung unterschiedlicher Settings eines Unterrichts auf Distanz (z. B. Fern-, Distanz- und Hybridunterricht sowie Blended Learning) wird derzeit in der öffentlichen Diskussion zumeist der Begriff „Homeschooling“ verwendet – entgegen seiner ursprünglichen Bedeutung, nach der Homeschooling eine Form des Lernens ist, die ohne Einbindung von Schule und zumeist über die Eltern realisiert wird (Spiegler, 2009). In Deutschland ist Hausunterricht aufgrund der allgemeinen Schulpflicht aber nur in Ausnahmefällen und von examinierten Lehrkräften durchgeführt erlaubt (vgl. Fickermann & Edelstein, 2020). Meyer (2020, o. S.) definiert Homeschooling als „[...] eine Variante individualisierenden Unterrichts, bei der das gemeinsame Arbeiten in der Klasse befristet aufgehoben und durch Hausarbeit ersetzt wird, die mit digitalen und analogen Unterrichtsmedien unterstützt wird.“ Hierbei werden jedoch Mischformen wie geteilte Klassen, die eher dem Hybridunterricht als dem Blended Learning zuzuordnen sind, nicht eindeutig berücksichtigt. Auch bleibt unklar, in welchem Umfang Homeschooling synchron oder asynchron stattfindet und wie viel Schüler*innen-Lehrer-Kommunikation zu erwarten wäre. Unabhängig von der genauen Ausgestaltung des Distanzunterrichts ist klar, dass seitens der Lehrkräfte erweiterte digitale Kompetenzen insbesondere im Bereich der Kommunikation notwendig sind. Wird der Frage nachgegangen, welche konkreten Kompetenzen in der aktuellen Situation zur Aufrechterhaltung der Kommunikation und zum Transfer vorhandener Unterrichtsplanungen in Distanzunterrichtssituationen dringend benötigt werden, darf auch die bisherige Mediennutzung durch Lehrerinnen und Lehrer nicht außer Acht gelassen werden.

Aufgrund des Wandels der Begrifflichkeiten und der angestoßenen Prozesse während der Pandemie werden im Folgenden empirische Befunde zur digitalen Transformation schulischer Bildung vor und während der Pandemie getrennt be-

trachtet und anschließend die Notwendigkeit der Integration digitaler Kompetenzen in die Lehrerbildung hervorgehoben. Als Strukturierungshilfe und zur Unterstützung der eigenen Unterrichtsplanung kann dabei der für die erste Phase der naturwissenschaftlichen Lehrerbildung erstellte und digitale Basiskompetenzen beschreibende Orientierungsrahmen DiKoLAN – *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften* (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020) dienen, was im zweiten Kapitel an einem konkreten Unterrichtsbeispiel verdeutlicht wird.

1.1 Empirische Befunde zur Nutzung digitaler Medien vor Beginn der Corona-Krise

Die digitale Transformation von Schule und Unterricht lässt sich vor der Corona-Krise in Deutschland als eher schleppend beschreiben. Im Vergleich zu anderen Ländern und den dort bereits vorangetriebenen Prozessen, die sich nicht allein auf die Schaffung einer digitalen Infrastruktur konzentrieren, sondern diese unterrichtsbezogen in den Blick nehmen, offenbaren sich in Deutschland in vielen Bereichen eklatante Defizite. Dies lässt sich eindrucksvoll an einem Vergleich mit Dänemark erkennen. Im Zuge der zweiten internationalen Vergleichsstudie zu computer- und informationsbezogenen Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern (ICILS 2018 [Eickelmann et al., 2019]) gaben 47,6 % der Achtklässlerinnen und Achtklässler an deutschen Schulen an, in den naturwissenschaftlichen Fächern digitale Medien zu nutzen. Dieser Anteil liegt erfreulicherweise über dem Wert aus der ersten ICILS-Vergleichsstudie von 2013 (Bos et al., 2014), jedoch weit unterhalb des Anteils, der an dänischen Schulen erreicht wird (97,4 %) und auch unterhalb des europäischen Mittelwerts (67,0 %). Diese Diskrepanz zeigt sich auch deutlich in der Priorisierung der Digitalisierung von Unterricht. In Dänemark geben 97,1 % der befragten Lehrkräfte an, dass der Einsatz digitaler Medien im Unterricht an ihrer Schule Priorität hat; in Deutschland sind es hingegen nur 40,8 %. Ein hierbei zu verzeichnender, unterschiedlicher Grad der Priorisierung kann sich sowohl im generellen Einsatz als auch in der fachdidaktischen Tiefe und Eingebundenheit digitaler Medien im Unterricht widerspiegeln. Befunde einer repräsentativen Umfrage unter 524 deutschen Lehrkräften vor der Corona-Krise (Schmid et al., 2017) zeugen von einem eher niedrigschwelligen Einsatz digitaler Medien im Unterricht, der sich zumeist in der Substituierung analoger durch digitale Medien niederschlug. Befragt danach, welche digitalen Medien sie im Unterricht einsetzen, gab die Mehrheit von 76 % an, Präsentationsprogramme zu nutzen. Andere Formen digitaler Medien, die eine aufgabenbasierte und/oder methodische unterrichtliche Einbindung verlangen, wie z. B. Lernspiele und Simulationen (42 %), Lernapps (19 %) oder Lernplattformen (17 %), werden deutlich seltener genutzt.

In der Corona-Krise werden einerseits die Defizite in der Digitalisierung aktuell für Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler sowie Eltern, aber auch für die Bildungspolitik und -forschung offensichtlich, andererseits werden aber auch die Potenziale digital gestützten Unterrichts durch die nun erzwungene Digitalisierung erfahrbar.

1.2 Digitalisierung von Unterricht während der Corona-Pandemie

Die Phase der ersten Schulschließungen war geprägt von der Suche nach digitalen Kommunikationswegen und einer Nutzung dieser. Obwohl sich Lernplattformen als didaktisch strukturiertes Lehr-/Lernumfeld aktuell etablieren, war schon vor der Pandemie und im ersten Lockdown E-Mail das noch gängigste Kommunikationsmittel (Eichhorn et al., 2020; Mauß Research, 2020). Vielfach konnte das Versenden von Aufgaben und Lernangeboten per E-Mail als Lösung für die Problematik des nicht umsetzbaren Präsenzunterrichts beobachtet werden (Eickelmann & Drossel, 2020). Dies wiederum wurde von den Schülerinnen und Schülern selbst als problematisch wahrgenommen. Neben unzureichender Realisierung direkter Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden sowie Lernenden und Lernenden wurde zudem die Fülle an selbstständig zu Hause zu bearbeitenden Aufgaben zuhause als nachteilig in der Umsetzung des Distanzunterrichts angegeben (Wacker et al., 2020; Goetz, 2020).

Einhergehend mit den Herausforderungen der Organisation des Distanzunterrichts kamen für die Lehrkräfte erschwerend technische Mängel in den Infrastrukturen der Schulen sowie die zumeist vorliegende heterogene technische Ausstattung der Schülerinnen und Schüler (Goetz, 2020) zum Tragen. So waren Lernplattformen zu Beginn der Pandemie nur lückenhaft verfügbar und auch Schulungen im Umgang mit diesen nicht oder nur in geringem Umfang nachgefragt. An den Fortbildungseinrichtungen der Länder wurden kaum unterrichtsbezogene bzw. auf naturwissenschaftliche Fächer spezifizierte Schulungen angeboten (Diepolder et al., 2021). Zwar wurden im Verlauf der Pandemie zunehmend grundlegende Kurse zu den landesspezifischen Lernplattformen angeboten, doch fokussierten diese Angebote mehr den administrativen Umgang mit diesen Systemen und weniger fachspezifische Aspekte und Möglichkeiten der Integration von digitalen Medien in einen (konstruktivistischen) naturwissenschaftlichen Unterricht. Neben einer Diskussion um fehlende und dringend benötigte Infrastruktur für den Distanzunterricht sollten daher auch die Potenziale digitaler Medien in Unterrichtskonzepten verdeutlicht, geprüft und diskutiert werden.

1.3 Notwendigkeit der Integration von digitalen Basiskompetenzen in Studium und sich anschließenden Ausbildungsphasen

Die Corona-Pandemie hat gezeigt, wie schnell Lehrende in der Lage sein müssen, sich auf veränderte (digitale) Lehrbedingungen einzustellen. Dies erfordert sowohl eine bedarfsgerechte technische Ausstattung als auch Kompetenzen im Einsatz von digitalen Medien. Vieles von dem, was digitale Medien und Methoden im Distanzunterricht leisten können, kann auch im Präsenz- und Hybridunterricht fachdidaktisch sinnvoll und abhängig von den gesetzten Lern- und Kompetenzzielen mit einem Mehrwert verbunden sein. Um hier als Lehrkraft entsprechende inhaltliche und methodische Planungen vornehmen und umsetzen zu können, ist ein Fundament aus digitalen Basiskompetenzen in verschiedenen Bereichen notwendig. Vor dem Hintergrund der Vielfalt verfügbarer digitaler Medien sowie den Möglichkeiten ihrer didaktischen Anwendung zur beispielsweise Kommunikation, Präsentation oder Dokumentation, ist es sinnvoll, eine Strukturierung vorzunehmen, die a) (angehenden) Lehrkräften eine valide Selbsteinschätzung ihrer eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten erlaubt, b) direkte Verknüpfungen zu unterrichtlichen Planungsbereichen und etablierten, funktionalen Bereichen und Phasen typischer Unterrichtskonzepte ermöglicht und c) Zieldimensionen zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in der Lehrerbildung aufzeigt. Existierende Modelle wie z. B. DigCompEdu (Redecker, 2017), Digi.komp (Brandhofer et al., 2016) und K19+ (Kotzebue et al., 2020) liefern hierzu zwar allgemeine Perspektiven und Konzepte, können aber im Hinblick auf konkrete fachbezogene Implementierungen keine ausreichende Unterstützung bieten (Thyssen et al., 2020).

2. DiKoLAN – ein Orientierungsrahmen mit strukturierender und unterstützender Funktion

Der Orientierungsrahmen DiKoLAN benennt neben technischen Basiskompetenzen und rechtlichen Rahmenbedingungen sieben zentrale Kompetenzbereiche – vier fächerübergreifende und drei für die Naturwissenschaften spezifischere Bereiche (Abb. 1). DiKoLAN orientiert sich am TPACK-Modell (Koehler et al., 2013) und überträgt dieses auf die Struktur der universitären Phase der Lehrerbildung, um eine fachliche Integration digitaler Medien über die Fachdidaktiken hinaus zu erreichen. Dabei werden für jeden der sieben Kompetenzbereiche sowohl fachdidaktische und fachwissenschaftliche als auch bildungswissenschaftliche Kompetenzen aus Sicht der Digitalisierung aufgeführt und mittels drei Kompetenzstufen (*Nennen*, *Beschreiben* und *Anwenden*) ausdifferenziert (vgl. Abb. 2). Hierdurch lassen sich die Kompetenzerwartungen direkt mit zentralen didaktischen Fragestellungen von Unterrichtsplanungen verbinden, wodurch eine unterrichtsrelevante Perspektive eröffnet wird.



Abbildung 1: Orientierungsrahmen DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (<https://dikolan.de>).

Mit Perspektive auf die aktuellen Herausforderungen, denen sich Lehrkräfte bei der Digitalisierung ihres Unterrichts stellen müssen, kann DiKoLAN eine unterstützende Funktion bei der Planung und Durchführung von Unterricht mit unterschiedlich hohen Digitalisierungsgraden einnehmen. Im Zuge von Neu- und Umplanungen von Unterrichtsstunden – um den Anforderungen des Distanzunterrichts gerecht zu werden und selbstständiges Lernen zu ermöglichen – kann auch dem Ersetzen vorhandener analoger Aufgaben, Materialien und Unterrichtsentwürfe durch digitale Versionen eine besondere Rolle beigemessen werden. Zwar wird der reinen Substitution analoger Elemente durch digitale Entsprechungen (vgl. SAMR-Modell; Puentedura, 2006) zumeist kein inhaltlicher Mehrwert zugesprochen (Kramer et al., 2019), jedoch kann diese erste Stufe der Digitalisierung von digitalen Novizen beim Einstieg in den Planungsprozess zum digital gestützten Unterricht genutzt werden. Bestehende und in der Praxis bewährte Unterrichtsentwürfe und -konzepte sollten nicht bedingungslos verworfen werden, sondern bilden Blaupausen gelungenen Unterrichts. Ausgewählte Elemente können im Zuge der Digitalisierung verändert, erweitert oder sogar ersetzt werden, ohne die Grundstruktur des Unterrichts zwingend aufzugeben. Zur Verdeutlichung werden daher im Folgenden ausgehend von einem größtenteils analogen Unterrichtsbeispiel mit im Chemieunterricht fest etablierten Methoden, Medien und Materialien entsprechende digitale Realisierungsmöglichkeiten den analogen Elementen in den einzelnen Unterrichtsphasen systematisch gegenübergestellt und mit den benötigten digitalen Lehrkompetenzen im DiKoLAN verknüpft (vgl. Tab. 1).

Nennen	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)	Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen (inkl. notwendigem Vorgehen)	KK.U.1 Hardware und/oder Software nennen, die für eine spezifische Lehr-Lern-Situation sachgerecht (adressaten-, fach- und zielgerecht) geeignet ist. KK.U.2 Kollaborationsszenarien für Einstieg, Erarbeitung und Sicherung nennen. KK.U.3 Die Systeme als Zugang bzw. Vertiefung für den Kompetenzbereich Kommunikation nennen.	KK.M.1 Nennen möglicher Grenzen und Auswirkungen/Aspekte der jeweiligen Hardware- bzw. Software-Nutzung im Unterricht im Hinblick auf: <ul style="list-style-type: none">• Organisationsformen• gruppenarbeitsteilige Prozesse in der Sicherung und Erarbeitung (Arbeitspensum, Zuordnung zu Personen)• Kommunikation über die Unterrichtszeit hinaus• technische Probleme und Vorbereitungszeit• gruppendynamische Effekte• Selbstorganisation und Selbststeuerung• Datensicherheit (Schreib- und Lesezugriff)• Zeiteffektivität• Motivation• Effekte basierend auf BYOD-Nutzung (Mobbing, Angebote)• Daten- bzw. Datenaustausch KK.M.2 Beschreiben Vorteile beim unterrichtlichen Einsatz im Hinblick auf die genannten Maßnahmen zur Begeglung der Auswirkungen z. B.: <ul style="list-style-type: none">• Classroom von Apple, die Arbeitsanteile und Unübersichtlichkeit dokumentiert (z. B. Etherpad)• Möglichkeiten für strukturierte Nutzerfreigaben und Rechteverwaltung• Motivation und Mobbing/Angeberei durch Bereitstellung von Geräten	KK.F.1 Kollaborative Projekte in den Fachwissenschaften (z. B. Set@Home, Sallcatchers) nennen. KK.F.2 Kollaborative Laborbücher als eine Art der kollaborativen Zusammenarbeit nennen. KK.F.3 Kollaborative Dokumentbearbeitung bei Publikationen und Antragsstellungen nennen (z. B. über Google Docs oder Office 365). KK.F.4 Kommunikation mit internationalen Kollegen mittels geeigneter Systeme (z. B. über Skype oder Adobe Connect) nennen. KK.F.5 Wissensorganisation und Strukturierung über entsprechende Content-Systeme (z. B. CMS und Wikis) nennen.	Spezielle Technik (TK) KK.T.1 Software für kollaborative Text- und Datenverarbeitung (z. B. Office 365, Google Docs, Etherpad) nennen. KK.T.2 Gemeinsam nutzbare Cloud-Speicher-Programme (z. B. Landescloud, Schulcloud, Dropbox, OneDrive, Nextcloud/ownCloud, Sync'n'Share) nennen. KK.T.3 Systeme für gemeinsam nutzbare Netzspeicher (z. B. WLAN-Speicher, NAS) nennen. KK.T.4 Systeme zur Datenverwaltung nennen. KK.T.5 Möglichkeiten der Versionsverwaltung (z. B. Dateibenennung mit fortlaufender Nummerierung, datumsbasierte Dateinamen, Subversion, Git) nennen. KK.T.6 Kollaborativ nutzbare Systeme und Strategien zum Daten- und Dateimanagement nennen.
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	KK.U.B1 Einsatzszenarien einer geeigneten Möglichkeit/Strategie beschreiben. KK.U.B2 Kollaborationsszenarien für Einstieg, Erarbeitung und Sicherung (generische Unterrichtsplanung) beschreiben.	KK.M.B1 Beschreiben Vorteile beim unterrichtlichen Einsatz im Hinblick auf die genannten Maßnahmen zur Begeglung der Auswirkungen z. B.: <ul style="list-style-type: none">• Classroom von Apple, die Arbeitsanteile und Unübersichtlichkeit dokumentiert (z. B. Etherpad)• Möglichkeiten für strukturierte Nutzerfreigaben und Rechteverwaltung• Motivation und Mobbing/Angeberei durch Bereitstellung von Geräten	KK.F.B1 Vorteile der oben genannten Systeme für die Forschung und einzelne Projekte beschreiben.	KK.T.B1 Unter KK.T.1-6 genannte Hard-/Software-Kombinationen bezüglich ihrer Anwendung beschreiben.
Anwenden/Durchführen (praktische und funktionale Realisierung)	KK.U.A1 Planung und Durchführung von kompletten Unterrichtsszenarien mit sachgerechtem Einsatz der jeweiligen Technik unter Berücksichtigung geeigneter Organisations- und Sozialformen. KK.U.A2 Einweisung der Lernenden in die Techniken.	KK.U.A1 Planung und Durchführung von kompletten Unterrichtsszenarien mit sachgerechtem Einsatz der jeweiligen Technik unter Berücksichtigung geeigneter Organisations- und Sozialformen. KK.U.A2 Einweisung der Lernenden in die Techniken.	KK.T.A1 Nutzen kollaborative Software für Text- und Datenverarbeitung. KK.T.A2 Nutzen Speichersysteme, z. B. Landescloud, Schulcloud. KK.T.A5 Erstellen und Überarbeiten (synchron und asynchron) kollaborativ Text- und Datendateien.	Spezielle Technik (TK) KK.T.A1 Nutzen kollaborative Software für Text- und Datenverarbeitung. KK.T.A2 Nutzen Speichersysteme, z. B. Landescloud, Schulcloud. KK.T.A5 Erstellen und Überarbeiten (synchron und asynchron) kollaborativ Text- und Datendateien.

Abbildung 2: Auszug aus den Kompetenzerwartungen für den Bereich *Kommunikation und Kollaboration* im DiKoLAN mit Hervorhebung der im folgenden Beispiel adressierten Basiskompetenzen (vgl. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020, S. 32f.). Gliederung der Kompetenzerwartungen in Anlehnung an das TPACK-Modell (Koehler et al., 2013) und nach Kompetenzstufen: *Nennen, Beschreiben und Anwenden*.

2.1 Unterrichtsbeispiel zur photometrischen Konzentrationsbestimmung

Inhaltlich liegt der Fokus der hier gewählten Unterrichtskonzeption auf einem in der Chemie zentralen Verfahren zur Konzentrationsbestimmung – der Photometrie – sowie den damit verbundenen Fachkonzepten zur Absorption, Extinktion und dem Lambert-Beerschen Gesetz sowie den Fachmethodiken zur Erstellung einer Kalibrierkurve und zur Ermittlung eines Absorptionskoeffizienten. An diesem Beispiel können Unterrichtsszenarien mit verschiedenen Digitalisierungsgraden erläutert und – im Hinblick auf die bei Lehrkräften notwendigen digitalen Kompetenzen – diskutiert werden.

Methodisch und konzeptionell leitend für die Struktur des skizzierten Unterrichtsbeispiels ist das problembasierte Lernen umgesetzt in einer fachspezifisch eng gefassten Lehr-Lernsituation, in der die Lernenden zur Bearbeitung eines an den Alltag angebundenen Problems angeregt und angeleitet werden (Reusser, 2005). Eingebettet in einen problemgenerierenden Kontext soll in Kleingruppen der Frage nachgegangen werden, ob und wie stark ein Getränk (z.B. eine Saftschorle aus Sirup) verdünnt wurde, was mittels photometrischer Messung farbiger Inhaltsstoffe weitgehend analog oder digital gestützt (Thyssen et al., 2017) überprüft werden kann.








2.2 Zur Überführung in digitale Formate benötigte Kompetenzen der Lehrkraft

Eine Strukturierung digitaler Kompetenzen unter dem Aspekt der jeweils angestrebten Funktion im Lehr-Lernkonzept erlaubt es, vergleichsweise einfach für diese Unterrichtselemente notwendige Kompetenzen zu identifizieren. Für eine methodische und mediale Umsetzung in der digitalen Variante des Unterrichtsbeispiels würde die Lehrkraft – entsprechend den aus DiKoLAN zugewiesenen Kompetenzbereichen (Tab. 1) – folgende digitale Kompetenzen benötigen (vgl. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020, S. 28–41):




Für die **Einstiegsphase** kann gemäß der Teilkompetenz P.U.A1 („Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien unter Einbindung digitaler Präsentationsmedien und -formen [...]“) aus dem Kompetenzbereich *Präsentation* in Anpassung an Distanzlehre eine vertonte Präsentation (ggf. unterstützt durch Videos und Fotos zum Einstiegsphänomen) oder ein Video erstellt und unter Nutzung entsprechender Kompetenzen aus dem Bereich *Kommunikation und Kollaboration* wie KK.T.A2 („Nutzen Speichersysteme [...]“) den Schülerinnen und Schülern digital bereitgestellt werden (Abb. 2).

Eine moderierte Phase zur **Problemgenese** setzt ebenso im Bereich der *Kommunikation und Kollaboration* entsprechende Kompetenzen wie KK.U.B2 („Kollaborationsszenarien für Einstieg, Erarbeitung und Sicherung [...] beschreiben“) und eine Einbindung geeigneter Plattformen oder Tools voraus. Hierzu können

Tabelle 1: Unterrichtsverlaufsskizze mit korrespondierenden analogen und digitalisierten Elementen sowie Zuweisung benötigter digitaler Basiskompetenzen aus den Kompetenzbereichen des Orientierungsrahmens DiKoLAN (mit Fortsetzung).

Unterrichtsphase	Mediale Umsetzung		Kompetenzbereiche im DiKoLAN
	Analog (weitgehend)	Digital	
Einstieg Sirup und daraus hergestellte Schorlen mit unterschiedlicher Farbtintensität inklusive der Frage, wer jetzt welches Glas bekommt und ob gerecht gemischt wurde. (Die Intensität der Färbung gibt einen Ansatzpunkt für Argumentationen sowie Impuls zur Recherche nach geeigneten Verfahren.)	<ul style="list-style-type: none"> OHP-Folien oder mündliche Impulsgeschichte unterstützt durch gefüllte Gläser mit Fruchtschorle auf dem Pult der Lehrkraft 	<ul style="list-style-type: none"> (ggf. vertonte) Präsentation in der Cloud unterstützt durch Videos zum Einstiegsszenario und/oder Bilder mit Fruchtschorlen 	 Präsentation  Kommunikation/Kollaboration
Problemgenese & Fragestellung Problem: Bestimmung einer Farbtintensität und Klärung entsprechender Zusammenhänge mit einer Stoffkonzentration	<ul style="list-style-type: none"> Unterrichtsgespräch mit Tafelschrieb (Brainstorming) Ausgabe von Arbeitsblatt zur ersten Ergebnissicherung oder als Einstieg in eine Protokollführung 	<ul style="list-style-type: none"> Diskussion im Online-Forum/Chat kollaborative Entwicklung einer Lösungsstrategie mit Online-Text- oder -Whiteboard-Anwendungen zum Einstieg in eine Protokollführung 	 Kommunikation/Kollaboration  Dokumentation
Erarbeitung 1 Bereitstellung, Recherche (a. / b.) und/oder praktische Erarbeitung von Informationen (c.) zur Lichtabsorption, Extinktion bis hin zum Lambert-Beerschen Gesetz. ... Funktionsweise eines Photometers. ... Erstellung von Kalibrierkurven.	<ul style="list-style-type: none"> Ausgabe von Arbeitsblatt mit Informationstexten analoge Recherche nur im Schulbuch (andere Medien sind ggf. meist nicht in ausreichender Zahl verfügbar) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Digitale Arbeitsblätter mit Animationen und Videos b) empfohlene Webseiten zur eigenen Recherche c) Simulationen zur Photometrie, Modellierung des Lambert-Beerschen Gesetzes 	 Kommunikation/Kollaboration  Recherche und Bewertung  Simulation und Modellierung

(Fortsetzung von Tabelle 1)

Zwischensicherung Fixierung der erarbeiteten theoretischen und ggf. praktischen Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> Plenum/Unterrichtsgespräch oder Schülervortrag zu Teilthemen mit Ausgabe von Handouts 	<ul style="list-style-type: none"> kollaboratives Dokument mit Links zu Originalquellen oder ein Klassen-Wiki mit Themenseiten Bereitstellung der Teilergebnisse in der Cloud 	 
Erarbeitung 2 Photometrische Analyse von Mischungen (Schorlen aus der Problemfrage) anhand bereitgestellter Messwerte oder in praktischen Schülerübungen zur eigenen Datengewinnung	<ul style="list-style-type: none"> a) Ausgabe Arbeitsblatt mit Messwerten b) Durchführung eigener Messungen, nacheinander an einem Photometer c) Abtragung der Messwerte (eigene od. gegebene) Graphen auf halbblogarithmischem Millimeterpapier 	<ul style="list-style-type: none"> a) Dateien mit Messwerten, die eine statistische Auswertung und Graphenanalyse erlauben b) Durchführung eigener Messungen mit dem Smartphone und einer Lichtquelle (z.B. OHP oder zweites Smartphone/Tablet) (vgl. Thyssen et al., 2017) c) Analyse der eigenen oder gegebener Daten in einer Tabellenkalkulationssoftware Mittelwertberechnung nach Datenaustausch bzw. Eintrag in ein kollaboratives Dokument Ergebnisdokumentation und -ablage in geeigneten Dokumenten in der Cloud 	   
Sicherung Vergleich der Ergebnisse und Antworten auf die gestellte Problemfrage. Bewertung von Messunsicherheiten, Anforderungen und Klärung des Problems / der Forschungsfrage	<ul style="list-style-type: none"> Unterrichtsgespräch mit Tafelschrieb Ausgabe Arbeitsblatt oder Hefteintrag zur Ergebnissicherung 	<ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung einer Zusammenfassung, ggf. mit interaktiven Übungsaufgaben oder kollaborative Erstellung einer gemeinsamen Zusammenfassung 	 

u. a. neben Chatsystemen auch Online-Konferenzsysteme verwendet werden. Mit der Teilkompetenz KK.T.A5 („Erstellen und Überarbeiten (synchron und asynchron) kollaborativ Text- und Datendateien.“) ist eine synchrone Erarbeitung und Fixierung einer Problemfrage inklusive passender Lösungsstrategie (z. B. unter Verwendung von Online-Whiteboard-Anwendungen) digital möglich. Gemeinsam mit den Teilkompetenzen KK.M.B1/B2 („Beschreiben Vorteile beim unterrichtlichen Einsatz im Hinblick auf die genannten Aspekte.“ / „Beschreiben Maßnahmen zur Begegnung möglicher negativer Auswirkungen [...]“) sowie Kompetenzen zur Nutzung digitaler Dokumentationsmöglichkeiten zur Protokollführung (DO.T.A1) können entsprechende Unterrichtsszenarien erfolgreich umgesetzt werden.

In der **ersten Erarbeitungsphase** müssen je nach konkreter Ausgestaltung entweder Daten bereitgestellt (Kompetenzbereich *Kommunikation und Kollaboration*) oder Recherchemöglichkeiten (Kompetenzbereich *Recherche und Bewertung*) und praktische Informationszugänge (Kompetenzbereich *Simulation und Modellierung*) im Vorfeld durch die Lehrkraft erarbeitet, geprüft und vorbereitet werden. Eine Lehrkraft benötigt hierfür u. a. digitale Kompetenzen zur Initiierung und Anleitung von Recherche-Arbeitsprozessen wie RB.T.B1 („Beschreiben eine Recherchestrategie [...]“) und zur Vorbereitung einer erfolgreichen internetbasierten Informationssuche für die Lernenden auch Teilkompetenzen aus RB.U.B2 („Beschreiben die Schritte einer erfolgreichen internetbasierten Informationssuche bzw. Problemlösung anhand eines naturwissenschaftlichen Unterrichtsbeispiels [...] (z. B. entsprechend dem IPS-I-Modell nach Brand-Gruwel, Wopereis und Walraven[, 2009]).“). Praktische Informationszugänge wie die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beim entdeckenden Lernen mit Simulationen oder der Modellierung des Lambert-Beerschen Gesetzes erfordert darüber hinausgehende Kompetenzen der Lehrkraft aus dem entsprechenden Kompetenzbereich, z. B. SM.T.N1 („Nennen mehrere Programme oder Webpakete, mit denen Simulationen und Modellierungen vorgenommen werden können [...].“) und SM.U.B1 („Beschreiben didaktische Voraussetzungen für den Einsatz von Simulationen und Modellierungen im Unterricht [...] sowie durch digitale Systeme ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen (vor allem zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung [...]).“).

Für die **Zwischensicherung** müssen wiederum bereits angeführte Kompetenzen aus dem Bereich *Kommunikation und Kollaboration* sowie dem Bereich der *Dokumentation* wie DO.U.N1 („Digitale Techniken zur Dokumentation [...] für spezifische Lehr-Lern-Situationen, z. B. beim Experimentieren, für Ergebnisse einer Literaturrecherche nennen.“) vorhanden sein, um Schülerinnen und Schülern entsprechende Tools und Techniken zur dauerhaften Informationsablage erschließbar zu machen.

Eine **zweite Erarbeitungsphase** unter Einbindung von Smartphones mit vorinstallierten Apps zur digitalen *Messwert- und Datenerfassung* setzt die Teilkompetenzen MD.T.N1 („Jeweils mehrere Möglichkeiten der [...] [digitalen Messwert-

erfassung] nennen, z.B. [...] mit mobilen Endgeräten mit eingebauten Sensoren zur Datenaufnahme (z.B. Kamera [...]) [...]“) und MD.T.A1 („Inbetriebnahme, Kalibrierung und Messwerterfassung [...]“) voraus. Um sich daran anschließen- de Lernzugänge zur Visualisierung und Auswertung eigenständig digital erfasster photometrischer Messwerte zu schaffen, sind Teilkompetenzen aus dem Bereich *Datenverarbeitung*, wie DV.T.B3 („Mögliche Schwierigkeiten beim Export und Import von digitalen Daten [...] beschreiben.“), DV.T.B4 („Möglichkeiten zur Konvertierung der Daten und Datenformate beschreiben.“) und DV.T.A1 („Verfahren (z.B. Statistikprogramme, Tabellenkalkulation, Datenbanken) zur [...] Berechnung neuer Größen [und] Aufbereitung zur Visualisierung [...] anwenden“) notwendig. Ebenso können diese Zugänge auch zur kollaborativen Bearbeitung durch die Lernenden aufbereitet werden (Kompetenzbereich *Kommunikation und Kollaboration*). Für eine Erarbeitung der Inhalte und Problemlösung über bereitgestellte Messwerte wären bereits erläuterte Teilkompetenzen aus der Einstiegsphase und ersten Erarbeitungsphase und ggf. auch im Bereich *Datenverarbeitung* von Bedeutung.

Abhängig von der konkreten Ausgestaltung der **Sicherungsphase** benötigt eine Lehrkraft zum Abschluss der Unterrichtseinheit Teilkompetenzen aus den Bereichen *Kommunikation und Kollaboration* sowie *Dokumentation*, um diese zielführend in die Unterrichtsplanung sowie -umsetzung einzubringen und auch Schülerinnen und Schüler in die digitale Zusammenführung und kollaborative Analyse ihrer Befunde einweisen zu können.

Die Ausführungen verdeutlichen, dass DiKoLAN eine eng an funktionelle Elemente der Unterrichtsgestaltung angelehnte Beschreibung von Teilkompetenzen bietet, welche für eine Digitalisierung von Unterrichtsphasen wesentlich sind. Eine Lehrkraft, die über die ausgewiesenen Kompetenzen verfügt, kann damit sehr einfach abhängig von Zielsetzungen und Rahmenbedingungen in einer methodischen Analyse eine geeignete analoge, hybride oder digital gestützte Unterrichtskonzeption ableiten und erstellen. Wie Tabelle 1 verdeutlicht, können im Zuge des digitalen Wandels von Unterricht auch einzelne Phasen entsprechend ihrer jeweiligen Funktion aus fachdidaktischen Gründen digitalisiert werden, auch ohne eine vollständige Digitalisierung anzustreben.

3. Fazit

Unverändert wird Schule und Unterricht aus dieser pandemiebedingten Phase digital geprägter Lehr-Lernzeit auf Distanz nicht hervorgehen. Was sich in den Strukturen von Schule und zukünftigem Unterrichtshandeln der Lehrkräfte als bleibend verankern kann, ist voll umfassend sicher noch nicht absehbar – was aktuell und perspektivisch fehlt, jedoch schon. Lehrkräfte mussten sich in der Not zur Digitalisierung überwiegend selbst behelfen und ihre digitalen Kompetenzen

zen im Selbststudium erweitern (Tengler et al., 2020). Die Ausgestaltung von Distanzunterricht reichte von der reinen Übermittlung von Arbeitsblättern bis hin zu vollständigen didaktischen Unterrichtskonzepten, „die mit digitalen Hilfsmitteln eine Fortsetzung der pädagogischen Arbeit ermöglicht haben.“ (Hoffmann, 2020, S. 98). Letztere sind nicht allein durch das nun zunehmende Vorhandensein digitaler Endgeräte an den Schulen zu begründen, sondern auch an infrastrukturelle Änderungen in der Einführung von Lernmanagementsystemen und eine Neugestaltung von Unterricht gebunden (Eickelmann & Drossel, 2020), wobei das Neue nicht als etwas gänzlich Unbekanntes definiert werden sollte. In der Gestaltung von Hybridunterricht, in dem Präsenz- und Online-Lernangebote kombiniert werden, und besonders im Wechselunterricht sowie bei Klassenteilungen, haben Blended-Learning-Formate Einzug gehalten, die eine Flexibilisierung von räumlichen, zeitlichen und strukturellen Merkmalen von Unterricht verlangen (Klieme, 2020). Individualisiertes Lernen gewinnt im Distanzunterricht gleichsam wie selbstregulative Lernstrategien an Bedeutung (Fischer et al., 2020) und wird unter Fernkoordination der Lehrkraft mit analogen und digitalen Unterrichtsmedien initiiert, gestaltet und begleitet, was aber erweiterte digitale Kompetenzen der Lehrkraft erfordert – insbesondere im Bereich der *Kommunikation und Kollaboration*. In der Wahrnehmung von Lehrkräften dessen, was nach der Krise bleibt oder bleiben könnte, werden gerade jene Formate hervorgehoben, die ein digital gestütztes Lernen und Kommunizieren ermöglichen und damit zu offeneren Lernformen führen (Eichhorn et al., 2020; Schrammel et al., 2020). Eine erfolgreiche Umsetzung von Blended-Learning-Angeboten, zum Beispiel im Sinne des *Flipped Classrooms* (vgl. Crouch & Mazur, 2001; Mazur, 1997), wird jedoch weiterhin an eine bessere technische Ausstattung und eine medientechnische und -pädagogische Unterstützung sowie Fortbildung der Lehrenden gebunden sein (Goetz, 2020). Der Bedarf an Lehrkräften mit digitalen Kompetenzen ist klarer denn je und verlangt eine entsprechende curriculare Verankerung in allen Phasen der Lehrerbildung, gestaltet von und in Hochschule, Schule sowie Fort- und Weiterbildungseinrichtungen. Was aber zeigt sich nun in einer medienkompetenzbezogenen Fachausbildung als wichtige Basiskompetenz, die es bereits im Studium anzulegen gilt und die ein zukünftiges digitales Unterrichtshandeln positiv beeinflusst bzw. erst ermöglicht? Für den Bereich der Naturwissenschaften wurde als rahmengebendes Werkzeug zur Beantwortung und hochschuldidaktischen Ausgestaltung dieser Frage der Orientierungsrahmen DiKoLAN entwickelt (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020). Ursprünglich auf die erste Phase der Lehrerbildung ausgerichtet und die für den Lehrberuf in den Naturwissenschaften als notwendig erachteten digitalen Basiskompetenzen beschreibend (vgl. universitäre Anwendungsbeispiele in Becker, Meßinger-Koppelt & Thyssen, 2020), kann DiKoLAN auch für den Unterricht selbst ein unterstützendes Instrument in der Planung, dem Feedback und der Reflexion des eigenen Kompetenzprofils sein (z. B. Thoms, Finger, Thyssen & Frank, 2020). In Kombination mit dem aus den Schulschließungen entstandenen

Handlungsdruck zum digitalisierten und/oder digital gestützten Unterrichten, den hierbei wahrnehmbaren positiven Erfahrungen in der Ausrichtung offener Lernstrukturen fungiert der Orientierungsrahmen als ein weiteres Puzzlestück in der digitalen Transformation von Schule und Unterricht.

Danksagung

Unser Dank gilt der Joachim Herz Stiftung (insbesondere Jenny Meßinger-Koppelt und Jörg Maxton-Küchenmeister) für die organisatorische und finanzielle Unterstützung der Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen bei der Entwicklung von DiKoLAN als Orientierungsrahmen zur Strukturierung einer digitalen Transformation der Lehrkräftebildung in der ersten Phase.

Literatur

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (Hrsg.). (2020). *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I. & Walraven, A. (2009). A descriptive model of information problem solving while using internet. *Computers & Education*, 53(4), 1207–1217.
- Bos, W., Eickelmann, B., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Schulz-Zander, R. & Wendt, H. (2014). *ICILS 2013. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Waxmann. https://www.pedocs.de/volltexte/2015/11459/pdf/ICILS_2013_Berichtsband.pdf
- Brandhofer, G., Kohl, A., Miglbauer, M. & Nárosy, T. (2016). digikompP – Digitale Kompetenzen für Lehrende. Das digi.kompP-Modell im internationalen Vergleich und in der Praxis der österreichischen Pädagoginnen- und Pädagogenausbildung. *Open Online Journal for Research and Education*, 6, 38–51.
- Crouch, C. H. & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. *American Journal of Physics*, 69, 970–977.
- Diepolder, C., Weitzel, H., Huwer, J. & Lukas, S. (2021). Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. *ZfDN* (eingereicht).
- Eichhorn, M., Tillmann, A., Müller, R. & Rizzo, A. (2020). Unterrichten in Zeiten von Corona: Praxistheoretische Untersuchung des Lehr-Handelns während der Schulschließung. In C. Müller Werder & J. Erlemann (Hrsg.), *Seamless Learning: GMW Proceedings 2020*. Waxmann.
- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (2019). *ICILS 2018 – Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich*

- und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Waxmann. <https://www.waxmann.com/?eID=texte&pdf=4000Volltext.pdf&typ=zusatztext>
- Fickelmann, B. & Drossel, K. (2020). *Schule auf Distanz – Perspektiven und Empfehlungen für den neuen Schulalltag. Eine repräsentative Befragung von Lehrkräften in Deutschland*. https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2020/05/Vodafone-Stiftung-Deutschland-Studie_Schule_auf_Distanz.pdf
- Fickermann, D. & Edelstein, B. (2020). „Langsam vermisste ich die Schule ...“. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisste ich die Schule ...“* (S. 9–33). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992318.01>
- Fischer, C., Fischer-Ontrup, C. & Schuster, C. (2020). Individuelle Förderung und selbst-reguliertes Lernen. Bedingungen und Optionen für das Lehren und Lernen in Präsenz und auf Distanz. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisste ich die Schule...“. Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 136–152). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992318.08>
- Goetz, M. (2020). Distance Learning in der COVID-19 Krise: Ein Praxischeck. *Medien-impulse*, 58(02). <https://doi.org/10.21243/mi-02-20-19>
- Hoffmann, I. (2020). Die Corona-Pandemie als Katalysator für Schulreformen? Ein persönlicher Blick auf die pädagogische Corona-Praxis. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisste ich die Schule...“. Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 95–101). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992318.05>
- Klieme, E. (2020). Guter Unterricht – auch und besonders unter Einschränkungen der Pandemie? In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisste ich die Schule...“. Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 117–135). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992318.07>
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>
- Kotzebue, L. von, Franke, U., Schultz-Pernice, F., Aufleger, M., Neuhaus, B. J. & Fischer, F. (2020). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt: Veranschaulichung des Rahmenmodells am Beispiel einer Unterrichtseinheit aus der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie – Biologie Lehren und Lernen*, 24, 29–47. <https://doi.org/10.4119/ZDB-1735>
- Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M. & Neuhaus, B. J. (2019). Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00096-5>
- Mauß Research (2020). Digitalpakt. *Eine Onlineumfrage unter erwerbstätigen GEW-Mitgliedern an deutschen Schulen. April 2020*. Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft. <https://www.gew.de/fileadmin/media/publikationen/hv/Bildung-digital/202004-Mitgliederbefr-Digitalisierung.pdf>
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Pearson/Prentice Hall.
- Meyer, H. (2020). *Unterricht gestalten. Didaktische Maßstäbe für Homeschooling in Corona-Zeiten*. <https://www.cornelsen.de/magazin/beitraege/didaktische-massstaebe-home-schooling>
- Puentedura, R. (2006). *Transformation, technology, and education* [Blog post]. <http://hippasus.com/resources/tte/>.
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: Dig-CompEdu* (No. JRC107466). Seville: Joint Research Centre
- Reusser, K. (2005). Problemorientiertes Lernen – Tiefenstruktur, Gestaltungsformen, Wirkung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 23, 159–182.
- Schmid, U., Goertz, L. & Behrens, J. (2017). *Monitor Digitale Bildung – Die Schulen im digitalen Zeitalter*. Bertelsmann Stiftung.

- Schrammel, N., Tengler, K. & Brandhofer, G. (2020). Lernen trotz Corona. Chancen und Herausforderungen des Distance Learnings an österreichischen Schulen. Ergebnisse von berufserfahrenen Lehrkräften im Vergleich zu Berufseinsteigerinnen und Berufseinsteigern. *R&E-SOURCE Open Online Journal for Research and Education*, 14.
- Spiegler, T. (2009). Lernen ohne Schulraum: Home Education und Unschooling als Gegenentwurf zu raumgebundenem Lernen. In J. Böhme (Hrsg.), *Schularchitektur im interdisziplinären Diskurs* (S. 140–153). Verlag für Sozialwissenschaften.
- Tengler, K., Schrammel, N. & Brandhofer, G. (2020). Lernen trotz Corona. Chancen und Herausforderungen des distance learning an österreichischen Schulen. *Medienimpulse*, 58(02). <https://doi.org/10.21243/mi-02-20-24>
- Thoms, L.-J., Finger, A., Thyssen, C. & Frank, T. (2020). Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern. Schülerexperimente zur Messung der Periodendauer eines Fadenpendels und zur Bestimmung des Ortsfaktors. *Unterricht Physik*, 179, 23–27.
- Thyssen, C., Hartner, L. & Nieß, C. (2017). Taschenphotometer – Chemische und Biologische Analysen mit Smartphone oder Tablet. In *MNU Themenspezial MINT 2017* (1). Verlag Klaus Seeberger.
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehramtsausbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 77–98). Universitätsverlag Rhein-Ruhr. <https://doi.org/10.17185/duerpublico/73330>
- Wacker, A., Unger, V. & Rey, T. (2020). „Sind doch Corona-Ferien, oder nicht?“. Befunde einer Schüler*innenbefragung zum „Fernunterricht“. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *„Langsam vermisste ich die Schule...“: Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 117–135). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992318.04>

Der Kerzenfahrstuhl 2.0 – Ein Umsetzungsbeispiel aus dem Lehrprojekt ProMeC

Einleitung

Um dem digitalen Wandel im Bereich der Schulbildung gerecht werden zu können, müssen angehende Lehrkräfte den sinnstiftenden und kritisch reflektierten Einsatz digitaler Werkzeuge im Rahmen ihres Studiums erlernen. Dabei ist eine Anbindung an die studierten Unterrichtsfächer unumgänglich, denn nur so können Studierende ein fachspezifisches Professionswissen im Bereich der digitalen Medien aufbauen, wie das Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK)-Modell (Köhler, Mishra & Cain, 2013) zeigt. Dieses setzt technologisches Wissen mit dem *traditionellen* Modell zu Professionswissen von Lehrkräften nach Shulman in Beziehung (Shulman, 1986). Mittlerweile wurde das Modell des TPCK zum Digitaly-related Pedagogical and Content Knowledge-Modell (DPCK) erweitert (Huwer, Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen, 2019). Dieses schließt die technologischen Wissensbestandteile des TPCK-Modells mit ein und erweitert es um digitalitätsbezogenes Wissen. Dadurch werden weitere Facetten der Digitalität, wie z. B. soziale oder ethische Aspekte, mitberücksichtigt (ebd.).

Damit angehende Lehrkräfte lernen, wie sie das Potential von digitalen Medien zur Gestaltung von Chemieunterricht voll ausschöpfen können, benötigen sie verschiedenste Kompetenzen. Becker et al. (2020) fassen diese digitalen Basiskompetenzen auf Grundlage des TPCK-Modells im Orientierungsrahmen DiKoLAN zusammen.

Um der Vermittlung dieser digitalen Basiskompetenzen als neuer Anforderung an die Lehrkräftebildung im Fach Chemie gerecht werden zu können, wurde das Projekt ProMeC (Professionalisierung zur Einbindung digitaler Medien im Chemieunterricht) ins Leben gerufen. Dieses ist ein kumulativ aufbauendes Lehrprojekt, das in drei fachdidaktischen Veranstaltungen im Bachelorstudiengang umgesetzt wird (Rosenberg & Rautenstrauch, 2021). Das Ziel ist es, Lehramtsstudierenden des Faches Chemie fortlaufend während des gesamten Studiums Lerngelegenheiten zu digitalen Medien im Chemieunterricht zu bieten. Neben der Überwindung eventuell vorhandener Ressentiments soll im ersten Schritt eine große Bandbreite verschiedener Geräte und Tools für den fachbezogenen Einsatz kennengelernt werden (Aufbau von TCK/DCK). Zusätzlich werden verschiedene Medientheorien in den Seminaren thematisiert (Aufbau von TPK/DPK) und konkret auf unterrichtsrelevante Beispiele angewendet. Im letzten Schritt, gegen Ende des Bachelorstudiums, sollen die Studierenden dazu befähigt werden, auf Grundlage der erlernten Theorien und Werkzeuge didaktisch begründet zu entschei-

den, wann der Einsatz von digitalen Medien sinnvoll ist und einen sinnstiftenden Mehrwert für den Unterricht bietet und welches digitale Werkzeug für das intendierte Ziel das richtige ist. Dazu findet ein Modul zur experimentellen Schulchemie statt, welches grundlegend auf den bisher thematisierten Inhalten zur Fachdidaktik im Allgemeinen und digitalen Medien im Speziellen aufbaut. Das Modul beinhaltet u. a. ein Praktikum zur experimentellen Schulchemie, in welchem verschiedenste Schulexperimente zu Themen des Chemiecurriculums kennengelernt und unter fachdidaktischen Gesichtspunkten (Aufgreifen von Schülervorstellungen, Kriterien guter Experimente usw.) reflektiert werden (Rosenberg & Rautenstrauch, 2021). Ein Teil der Experimente wird dabei durch digitale Medien unterstützt oder ergänzt. Hierbei soll von den Studierenden diskutiert und reflektiert werden, ob der Einsatz des entsprechenden digitalen Mediums an dieser Stelle sinnvoll ist und einen Mehrwert bringt oder nur eine *nette Spielerei* ist. Um diese Anforderung bewältigen zu können, müssen die Studierenden also ein digitalitätsbezogenes pädagogisches Inhaltswissen (DPCK) entwickeln.

Im Folgenden soll nun ein konkretes Umsetzungsbeispiel aus der Experimentellen Schulchemie vorgestellt werden. Anhand dessen kann der Einsatz digitaler Messsensoren und das Aufgreifen vorhandener Schüler*innenvorstellungen mit Studierenden diskutiert und so zur Förderung der Kompetenzen im Bereich des DPCK beigetragen werden.

Ein konkretes Umsetzungsbeispiel: Der Kerzenfahrstuhl

Der Kerzenfahrstuhl ist ein bekannter Versuch (z. B. Parchmann & Jansen, 2007). Bei diesem wird eine pneumatische Wanne mit (angefärbtem) Wasser gefüllt (Abb. 1). Auf der Wasseroberfläche schwimmt ein brennendes Teelicht, über das ein Standzylinder (400 ml) mit der Öffnung nach unten gestülpt wird.

Es kann nun beobachtet werden, dass aus dem Standzylinder unten Gasblasen entweichen. Außerdem wird die Flamme mit der Zeit immer kleiner, bis sie vollständig erlischt. Anschließend steigt Wasser in dem Standzylinder hoch und die Kerze wird nach oben transportiert. Daher rührt der Name des Kerzenfahrstuhls.

Dieser Versuch könnte als *Unversuch* betitelt werden, denn neben der fachwissenschaftlich richtigen, findet man auch oft folgende falsche Erklärung, welche auch von Schülerinnen und Schülern beizeiten zur Erklärung herangezogen wird: Durch das Verbrennen der Kerze wird der Sauerstoff aus der Luft im Standzylinder verbraucht. Dadurch wird in diesem *Platz frei* und es entsteht ein Unterdruck, wodurch Wasser in den Standzylinder gedrückt wird.

Um den Versuch besser verständlich zu machen, können digitale Messsensoren eingesetzt werden (Abb. 1). Der Versuch wird wie oben beschrieben durchgeführt, allerdings muss ein deutlich größerer Standzylinder (2500 ml) verwendet werden. In diesem werden mit doppelseitigem Klebeband nun drei Messsenso-

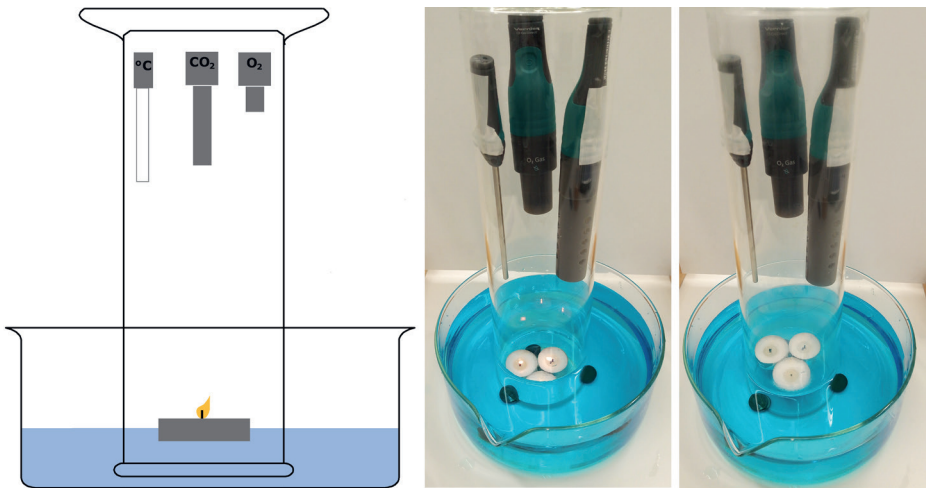


Abbildung 1: Modifizierter und um digitale Sensoren erweiterter Kerzenfahrstuhl-Versuch

ren zur Messung des Sauerstoffgehalts, des Kohlenstoffdioxidgehalts und der Temperatur befestigt. Außerdem muss die Anzahl der Teelichter aufgrund des größeren Volumens des Standzylinders auf mindestens drei Teelichter angepasst werden. Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Beobachtungen kann festgestellt werden, dass der Sauerstoffgehalt im Standzylinder im Laufe des Versuches von 20,79 % auf 16,51 % fällt und der Gehalt an Kohlenstoffdioxid von 0,06 % auf 1,98 % steigt (Abb. 2).

Mit Hilfe der Sensoren kann sichtbar gemacht werden, was mit bloßem Auge nicht zu beobachten ist. Der Gehalt des Sauerstoffs sinkt erwartungsgemäß, aber er wird nicht vollständig verbraucht. Dies ist ein häufig vorherrschendes Fehlkonzept, welches auch bei Studierenden auftritt (von Kotzebue & Fleischer, 2020). Mit Hilfe der Sensoren kann gezeigt werden, dass eine Kerze bereits bei einem Sauerstoffgehalt von 15–17 % erlischt (Parchmann & Jansen, 2007) und dass ein neues farbloses Gas (Kohlenstoffdioxid) entsteht. Einige Sensoren können zusätzlich auch noch die Luftfeuchtigkeit messen, womit man zeigen könnte, dass auch noch Wasserdampf entsteht. Die Erklärung, dass das Wasser in dem Standzylinder nach oben steigt, weil der Sauerstoff vollständig verbraucht wird und somit ein Unterdruck entsteht, kann also mit Hilfe der Sensoren eindrucksvoll in Frage gestellt werden. Der Sauerstoffgehalt fällt nicht so stark, wie häufig vermutet wird und gleichzeitig werden ein neues farbloses Gas und Wasserdampf gebildet, welche ebenfalls Raum im Standzylinder einnehmen.

Doch wieso steigt nun das Wasser im Standzylinder nach oben? Während des Versuchs wird die Luft im Standzylinder durch die Kerze erwärmt und dehnt sich aus. Dadurch entweichen während des Versuchs Gasblasen aus dem Standzylinder. Erlischt die Kerze, kühlt sich auch das Gemisch aus Luft und dem neu entstan-

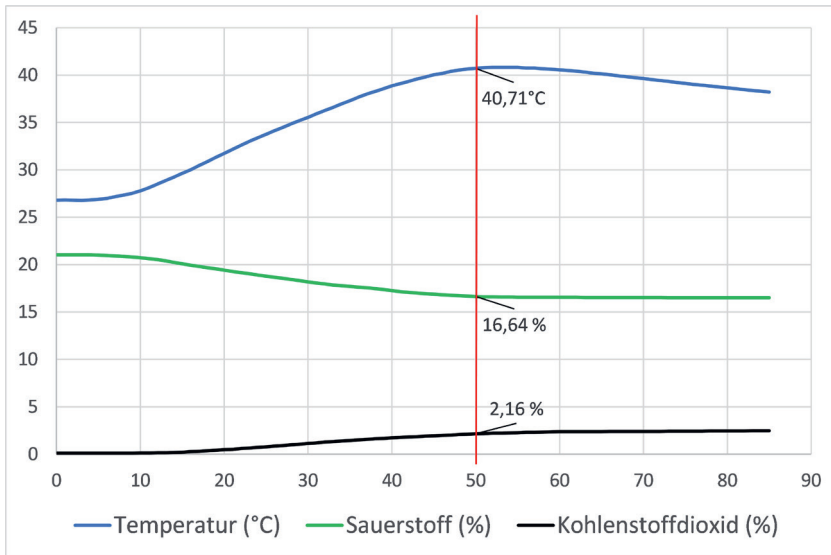


Abbildung 2: Exemplarische Messergebnisse der Temperatur, des O_2 -Gehalts und des CO_2 -Gehalts im Kerzenfahrstuhl-Versuch

denen Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf ab, wobei ein Teil des Wasserdampfes kondensiert. Es nimmt dadurch weniger Raum ein, wodurch ein Unterdruck entsteht. Hinzu kommt, dass sich ein Teil des entstehenden Kohlenstoffdioxids in Wasser löst und der Unterdruck dadurch noch verstärkt wird. Zum Druckausgleich wird das Wasser in den Standzylinder gedrückt.

Durch den Temperatursensor kann gezeigt werden, dass das Hineindrücken des Wassers erst dann stattfindet, wenn die Temperatur ihren Höchstwert erreicht hat und anfängt zu sinken.

Dieses Experiment wurde im Rahmen des Praktikums der Experimentellen Schulchemie eingesetzt und anschließend mit den Studierenden reflektiert, welchen Mehrwert der Einsatz digitaler Messsensoren bei diesem Experiment mit sich bringt. In der Diskussion wird z.B. thematisiert, welche Präkonzepte und Fehlvorstellungen durch den Einsatz der Sensoren kontrastierend zur herkömmlichen Durchführung des Experiments aufgegriffen werden können und wieso nicht digitale Alternativen, z.B. der qualitative Nachweis des entstehenden Kohlenstoffdioxids mit Kalkwasser, nicht dasselbe leisten können. Um diese Aufgabe bewältigen zu können, müssen die Studierenden sowohl ihr Fachwissen zu Verbrennungsreaktionen als auch ihr fachdidaktisches Wissen zu Schülervorstellungen aktivieren und anwenden. Darüber hinaus müssen auch digitalitätsbezogene Kompetenzen, wie die kritische Bewertung des Einsatzes von digitalen Messsensoren in Lernsettings, in die Diskussion eingebracht werden. Neben der Fehlvorstellung, dass Kerzen erst dann erlöschen, wenn der Sauerstoff der Luft vollständig verbraucht ist (von Kotzebue & Fleischer, 2020), kann mit Hilfe der Sensoren

auch gezeigt werden, dass eine Verbrennungsreaktion keine Vernichtungsreaktion ist (Barke, 2006), denn es entstehen neue Stoffe. Zudem kann die Umsetzbarkeit im Unterricht mit den Studierenden diskutiert werden. Kritisch anzumerken sind bei der überarbeiteten Version des Experiments beispielsweise der erhöhte Kosten- und Materialaufwand sowie die schwierigere Haptik beim Einsatz der Sensoren. Es könnte sich daher anbieten, dass Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen das Experiment auf dem herkömmlichen Weg durchführen und anschließend zur gemeinsamen Erklärungsfindung im Plenum das größere Experiment mit den Messsensoren durchgeführt wird. Solche Ideen für die Einbindung in den Unterricht werden gemeinsam mit den Studierenden in der Reflexionsphase nach dem Praktikum erarbeitet und diskutiert und so die Entwicklung eines DPCK angestrebt.

Zusammenfassung und Ausblick

Anhand des hier vorgestellten Beispiels kann der sinnvolle Einsatz digitaler Messsensoren beispielsweise zum Aufgreifen von Präkonzepten diskutiert werden. Nach dem DiKoLAN (Becker et al., 2020) werden dabei vor allem Kompetenzen aus den Bereichen Messwert- und Datenerfassung und Datenverarbeitung geschult, wobei insbesondere die Schwerpunkte Unterrichten (TPCK) und Methodik/Digitalität (TPK) angesprochen werden. Hinsichtlich des vorgestellten Experiments des Kerzenfahrstuhls gibt es Überlegungen, dieses noch um einen Drucksensor zu erweitern und so den entstehenden Unterdruck sichtbar zu machen.

Das Experiment wurde im Rahmen der experimentellen Schulchemie entwickelt, welche Teil eines kumulativ aufgebauten Lehrprojekts ist (Rosenberg & Rautenstrauch, 2021). Durch den kumulativen Aufbau begegnen den Studierenden im Rahmen ihres Studiums immer wieder Lerngelegenheiten zu digitalen Medien, die aufeinander aufbauen und die verschiedenen Bereiche/Schwerpunkte des DPCK-Modells (DK, DPK, DCK und DPCK) (Huwer et al., 2019) aufgreifen sollen. Das Lehrprojekt steht noch am Anfang, sodass eine Evaluation zur Wirksamkeit des Lehrprojekts noch aussteht, jedoch in Arbeit ist.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an die Joachim-Herz-Stiftung sowie den Lehrfonds der Europa-Universität Flensburg für die finanzielle Unterstützung des Projektes und an Dr. Dominique Rosenberg für die Zusammenarbeit in dem Lehrprojekt Pro-MeC.

Literatur

- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik – Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E. Meier, M., Thoms L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU journal*, 72(5), 358–364.
- Parchmann, I. & Jansen, W. (Hrsg.). (2007). *Chemol: Chemie in Oldenburg. Heranführen von Kindern im Grundschulalter an Chemie und Naturwissenschaften* (4. verb. und erw. Aufl.). Carl-von-Ossietzky Universität. Institut für Reine und Angewandte Chemie.
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193 (3), 13–19.
- Rosenberg, D. & Rautenstrauch, H. (2021). Professionalisierung zur Einbindung digitaler Medien im Chemieunterricht. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, virtuelle Jahrestagung 2020, Band 41. Universität Duisburg-Essen.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Von Kotzebue, L. & Fleischer, T. (2020). Experimentieren mit digitalen Sensoren – Unsichtbares sichtbar machen. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 58–61). Joachim Herz Stiftung Verlag.

Digitally Embedded Tools (DET) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in der Lehrer*innenbildung

1. Notwendigkeit zur Digitalisierung in der Lehrer*innenbildung

Die Notwendigkeit der digitalen Umsetzung von Lernsituationen verstärkte sich erheblich während der Corona-bedingten Schulschließung. Jedoch sollte der sinnvolle Einsatz digitaler Medien im schulischen Rahmen nicht ausschließlich in Zeiten der Pandemie erfolgen, denn digitale Medien können im Unterricht viel mehr leisten. Neben der Integration von multimedialen Inhalten in den Unterricht (Mayer & Moreno, 2002) können Animationen einen positiven Einfluss auf den Erwerb von prozeduralem und deklarativem Wissen haben (Höffler & Leutner, 2007) oder Differenzierungsmöglichkeiten eine Anpassung an die individuellen Leistungsstände ermöglichen (Hillmayr et al., 2017). Gerade auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht bietet der Einsatz digitaler Medien beim Experimentieren die Möglichkeit zur Verbesserung des kognitiven und motivationalen Lernerfolgs (Kuhn & Vogt, 2014). In den beschriebenen Szenarien werden digitale Medien im Unterricht als Hilfsmittel zur Unterstützung des Lernprozesses eingesetzt. Um Schüler*innen zu einem „selbstständigen und mündigen Leben in einer digitalen Welt“ (Kultusministerkonferenz (KMK), 2016, S. 6) zu befähigen, genügt dieser Einsatz jedoch nicht, sondern digitale Medien müssen auch zum Lerngegenstand werden. Dazu veröffentlichte die KMK 2016 die *Kompetenzen in der digitalen Welt*, die verbindlich festlegen, welche digitalen Kompetenzen die Schüler*innen bis zur Vollendung des Mittleren Bildungsweges aufweisen sollen. Dieses bundesweite Dokument wird landesweit durch Curricula zur Medienbildung ergänzt (im Saarland: Basiscurriculum Medienbildung und informatische Bildung (MBK, 2019)). Doch selbst mit diesen politischen Vorgaben stellt sich die Frage, welche Kompetenzen Lehrkräfte aufweisen müssen, um den Schüler*innen einen digitalen Kompetenzerwerb und damit die Umsetzung der politischen Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Huwer et al. (2019) entwickelten auf der Basis des TPaCK-Modells nach Mishra und Koehler (2006) ein Kompetenzmodell für Lehrkräfte in einer digitalisierten Welt. Sie benennen das digitalitätsbezogene (DK), pädagogische (PK) und fachliche Wissen (CK) als die Grundsteine der Kompetenz von Lehrkräften. Neben diesen betrachten sie auch die Überschneidungsbereiche. Das sog. DPaCK (digitality-related pedagogical and content-related knowledge) ist dabei der von den Lehrkräften angestrebte Zustand, in dem Unterricht mit digitalen Medien aus allen drei Wissensbereichen heraus konstruiert wird. Das digitalitätsbezogene Wissen greift neben rein technologischem Wissen

auch vielperspektivische Auswirkungen der Digitalisierung auf (z. B. gesellschaftliche, soziale und ethische Auswirkungen), welche ebenfalls im Unterricht integriert werden sollten. Dieses Kompetenzmodell bietet allerdings noch keine Operationalisierung der Fähig- und Fertigkeiten der Lehrkräfte an. An dieser Stelle schafft der europäische Kompetenzrahmen für digitale Kompetenzen von Lehrenden DigCompEdu (Redecker, 2017) Abhilfe. Er benennt drei große Kompetenzteilbereiche mit jeweils einer bis vier Unterkategorien. Zum ersten Kompetenzteilbereich (berufliche Kompetenz) zählt demnach das berufliche Engagement, zum zweiten Teilbereich (pädagogische und didaktische Kompetenz) gehören die digitalen Ressourcen, das Lehren und Lernen, die Lernerorientierung und die Evaluation, während unter den letzten Teilbereich (Kompetenzen der Lernenden) die Förderung der digitalen Kompetenzen der Schüler*innen fällt. Zu jedem Aspekt finden sich in der Handreichung ausformulierte Kompetenzerwartungen. Um positive Effekte auf die Lernleistung der Schüler*innen zu haben, müssen Lehrkräfte speziell bezüglich des Kompetenzrahmens fort- und ausgebildet werden (Hillmayr et al., 2017). Zur Fort- und Ausbildung von Lehrkräften wurde auf der zuvor beschriebenen Grundlage das Konzept DET (Digitally Embedded Tools) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen entwickelt.

2. Digitally Embedded Tools (DET) zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen (angehender) Lehrkräfte

Das Konzept DET baut sich in drei Säulen auf der Basis der chemischen Fachdidaktik in allen Phasen der Lehrkräftebildung auf (vgl. Abb. 1): den digitalen Kompetenzen der Schüler*innen, den digitalen Kompetenzen der Lehrkräfte und dem Einsatz digitaler Medien im Unterricht zur Förderung digitaler Kompetenzen von Lernenden. Dabei handelt es sich bei der letzten Säule um die Zusammenführung der ersten beiden: Die Lehrkräfte wenden ihre digitalen Kompetenzen an, um die digitalen Fähig- und Fertigkeiten der Lernenden zu fördern.

Zur praktischen Umsetzung des Konzepts werden aus den Inhalten zwei Veranstaltungen konzipiert. Für die erste, universitäre Phase wird ein Seminar entwickelt, welches ab dem Sommersemester 2021 verpflichtend im Curriculum der Chemielehramtsstudierenden verankert ist. Für Lehrkräfte in der zweiten und dritten Phase wird eine mehrtägige Fortbildung angeboten. Das Seminar wurde bereits für das Sommersemester 2020 ausgearbeitet sowie pilotiert und wird daher nachfolgend beschrieben.

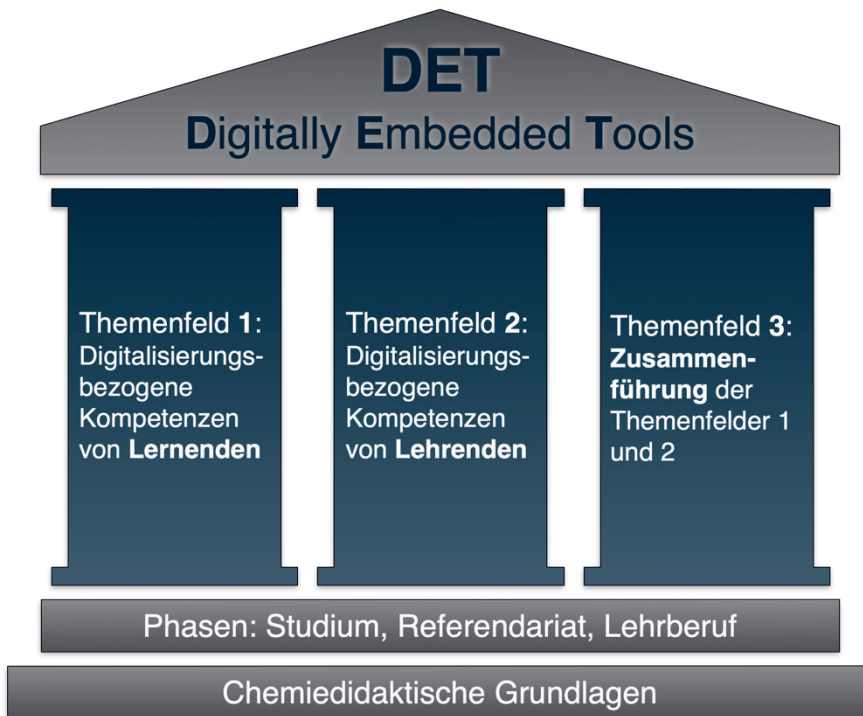


Abbildung 1: Aufbau der Veranstaltung Digitally Embedded Tools (DET) auf der chemischen Fachdidaktik in allen drei Phasen der Lehrkräftebildung

2.1 Konzeption des Seminars DET

Das Seminar orientiert sich an der oben beschriebenen Drei-Säulen-Struktur: Zunächst werden die digitalen Kompetenzen der Schüler*innen beleuchtet, dann die der Lehrenden und zum Schluss werden beide Aspekte zusammengeführt.

*Digitale Kompetenzen der Schüler*innen*

Um eine Vorstellung von den Kompetenzanforderungen an die Schüler*innen zu erhalten, diskutieren die Studierenden zunächst politische Dokumente. Hierbei werden mit dem *europäischen, digitalen Kompetenzrahmen für Bürger*innen* (Carretero et al., 2017) internationale, mit den *Kompetenzen in der digitalen Welt* (KMK, 2016) nationale und dem *Basiscurriculum Medienbildung und informatische Bildung* (MBK, 2019) regionale Betrachtungsweisen integriert. Diese Dokumente werden auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede hin analysiert und verglichen, um schließlich im Abgleich mit den Lehrplänen Umsetzungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

*Digitale Kompetenzen der Lehrer*innen*

Dieser Seminarabschnitt orientiert sich stark an den pädagogischen und didaktischen Kompetenzen von Lehrenden aus dem DigCompEdu-Konzept. Zunächst wird der Aspekt „digitale Ressourcen“ fokussiert. Hierbei erweitern die Studierenden ihre eigenen Fähigkeiten bei der Erstellung digitaler Ressourcen: Es werden digitale Werkzeuge vorgestellt, ausgetestet und selbst erstellt. Die Bandbreite reicht hier von interaktiven Übungsaufgaben (z.B. LearningApps) bis hin zu selbst erstellten Erklärvideos. Anschließend bildet die Broschüre *Urheberrecht in der Wissenschaft* (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2019) den Ansatzpunkt, um den Umgang mit bereits existierenden digitalen Ressourcen zu thematisieren. Schließlich wird Moodle als eine weit verbreitete Learningmanagement-Plattform (Aikina & Bolsunovskaya, 2020) zum Zusammenführen verschiedener digitaler Ressourcen vorgestellt und von den Studierenden erprobt. Dazu gibt es eine Selbstlerneinheit für Studierende. Sie beinhaltet zwei Moodle-Kurse: Der erste stellt einen Beispielkurs dar, der die wichtigsten Funktionen beinhaltet und als Vorlage dienen soll. An den entsprechenden Stellen sind Arbeitsaufträge mit den dafür benötigten Materialien integriert. Der zweite Kurs ist leer und bietet den Studierenden Platz, um dort die Arbeitsaufträge des Beispielkurses zu bearbeiten und so den ersten Kurs zu kopieren. Der aktive Umgang mit Moodle ist hierbei für die Studierenden sehr wichtig, um eine bessere Verarbeitungstiefe zu erreichen (Kintsch, 2010).

Zusammenführung der ersten beiden Bereiche

Um nun die digitalen Kompetenzen der Lehrenden zur Förderung der Kompetenzen auf Lerner*innenseite anzuwenden, gilt es, die Potenziale digitaler Medien auszuschöpfen. Hierbei spielen die DigCompEdu-Kompetenzbereiche „Evaluation“, „Lernerorientierung“, „Lehren und Lernen“ und „Förderung der digitalen Kompetenzen der Schüler*innen“ zusammen. Zunächst geben Girwidz und Hoyer (2018) sowie Mayer und Moreno (2003) aus Sicht der Cognitive Theory of Multimedia Learning an, wie multimediale Inhalte für eine hohe Lernwirksamkeit konzipiert sein sollen. Außerdem ermöglichen digitale Medien ein direktes Feedback, sodass dieses auch effektiv wirken kann (Gibbs & Simpson, 2005). Darüber hinaus können verschiedene Level der Individualisierung umgesetzt werden (Huwer & Brünken, 2018) und eine optimale Anpassung an den Leistungsstand der Lernenden durch die Integration von gestuften Hilfestellungen stattfinden (Seibert et al., 2020).

Zum Abschluss des Semesters planen die Studierenden schließlich eine Unterrichtseinheit zur Förderung digitaler Kompetenzen von Schüler*innen. Diese Unterrichtseinheiten werden mit Schulklassen erprobt und im Anschluss reflektiert. Aufgrund der Corona-Pandemie wurde die Unterrichtseinheit nur im Seminar präsentiert und gemeinsam reflektiert.

2.2 Pilotierung des Seminars DET

Die Pilotierung dieses ersten Seminardurchlaufs wurde von einer Evaluation begleitet. Dazu fand ein Prä-Post-Vergleich von vier Aspekten in Bezug auf die digitalen Kompetenzen der Studierenden statt: Selbsteinschätzung ihrer aktuellen Situation und Fähigkeiten (Lin et al., 2016), Lehrerselbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf digitale Medien (Schmitz & Schwarzer, 2002) sowie Selbst- und Fremdeinschätzung der eigenen digitalen Kompetenzen entsprechend des DigCompEdu-Kompetenzrahmens (Redecker, 2017). Bei den ersten beiden Aspekten wählten die Studierenden aus einer fünfstufigen Skala aus, inwiefern sie den gegebenen Aussagen zustimmen. Bei der Selbsteinschätzung der digitalen Kompetenzen wurde stets ein Aspekt entsprechend der sieben Kompetenzstufen operationalisiert und die Studierenden wählten die zutreffendste Operationalisierung aus, welche die Zuordnung zu einer Kompetenzstufe ermöglichte. Bei der Fremdeinschätzung wurde den Studierenden im Fragenstamm zunächst eine digitale Lernsituation beschrieben. Dazu wurden vier bis fünf Aussagen dargeboten, wobei von jeder Aussage das Zutreffen auf die beschriebene Situation bewertet werden sollte.

Ergebnisse der Pilotierung

Im ersten Seminardurchlauf ($N = 20$) konnten signifikante Verbesserungen bei den Skalen zur Selbsteinschätzung ihrer aktuellen Situation und Fähigkeiten ($t_{\text{aSF}}(20) = -2,159$, $p_{\text{aSF}} = .044$) und zur Selbsteinschätzung der eigenen digitalen Kompetenzen entsprechend des DigCompEdu-Kompetenzrahmens ($t_{\text{dig}_S}(20) = -2,159$, $p_{\text{dig}_S} = .044$) festgestellt werden, wobei sich in beiden Fällen nur kleine Effektstärken ($d_{\text{ASF}} = -1,08$; $d_{\text{dig}_S} = -1,28$) zeigten. In Bezug auf die Lehrerselbstwirksamkeitserwartung ($t_{\text{LSE}}(20) = -1,013$, $p_{\text{LSE}} = .324$) und Fremdeinschätzung der eigenen digitalen Kompetenzen ($t_{\text{dig}_F}(20) = -0,078$, $p_{\text{dig}_F} = .938$) konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

Diskussion der Ergebnisse

Die Steigerung der Selbsteinschätzung lässt darauf schließen, dass die Studierenden durch das Seminar mehr Selbstsicherheit im Umgang mit digitalen Medien gewinnen konnten. Leider zeigte sich bei der Lehrerselbstwirksamkeitserwartung keine signifikante Verbesserung, was bei den signifikanten Zunahmen der Selbsteinschätzungen zu erwarten gewesen wäre. Dies könnte auf einen bereits hohen Mittelwert in der Prätestung zurückgeführt werden (3,6286 von maximal 5).

3. Ausblick

Neben der Überarbeitung der Evaluationsinstrumente sollen künftig aktuelle Forschungsstände und Veröffentlichungen integriert und die Seminarinhalte entsprechend überarbeitet werden. So soll die Seminarkonzeption mit den *Digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften* (Becker et al., 2020) abgeglichen und ggf. angepasst oder erweitert werden.

Literatur

- Aikina, T. Y. & Bolsunovskaya, L. M. (2020). Moodle-Based Learning: Motivating and Demotivating Factors. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 15(02), 239. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i02.11297>
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (Hrsg.). (2020). *Digitale Basiskompetenzen*. <https://tinyurl.com/yw7342m8>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.). (2019). *Urheberrecht in der Wissenschaft*. https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Handreichung_UrhWissG.pdf
- Carretero, S., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1 The Digital Competence Framework for Citizens. *Luxembourg Publications Office of the European Union, EUR 28558 EN*. <https://doi.org/10.2760/38842>
- Gibbs, G. & Simpson, C. (2005). Conditions Under Which Assessment Supports Student's Learning. *Learning and Teaching in Higher Education*, 1, 3–31.
- Girwidz, R. & Hoyer, C. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien. Leitfaden zum Lehren mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht* (1. Auflage). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Waxmann.
- Höfler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738. <https://doi.org/10.1016/j.learn-instruc.2007.09.013>
- Huwer, J. & Brünken, R. (2018). Individualisierung mit Tablets im Chemie-Unterricht. *COMPUTER + UNTERRICHT*, 110, 4.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal*, 72(05), 358–364.
- Kintsch, W. (2010). Learning and Constructivism. In S. Tobias & T. M. Duffy (Hrsg.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (S. 223–241). Routledge Taylor & Francis Group.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2014). Mobile Endgeräte als Experimentiermittel im Naturwissenschaftlichen Unterricht – Stand der fachdidaktischen Forschung. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 46–63). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Kultusministerkonferenz (KMK). (2016). *Bildung in der digitalen Welt (Strategie der Kultusministerkonferenz)*. <https://tinyurl.com/2y2ukskp>

- Lin, H.-H., Lin, S., Yeh, C.-H. & Wang, Y.-S. (2016). Measuring mobile learning readiness: Scale development and validation. *Internet Research*, 26(1), 265–287. <https://doi.org/10.1108/IntR-10-2014-0241>
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 107–119. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00018-4)
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- Ministerium für Kultur und Bildung Saarland (MBK) (Hrsg.). (2019). *Basiscurriculum Medienbildung und informatische Bildung*. <https://tinyurl.com/5h3aka5u>
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/159770>
- Schmitz, G. S. & Schwarzer, R. (2002). Individuelle und kollektive Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern. In M. Jerusalem & D. Hopf (Hrsg.), *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen: Bd. Beiheft* (S. 27). Beltz Verlag. <https://tinyurl.com/4qtevr17>
- Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., W. M. Kay, C. & Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction for a Better Learning Outcome in Chemistry Education. *World Journal of Chemical Education*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.12691/wjce-8-1-1>

Umsetzung eines Laborpraktikums für Lehramtsstudierende während einer Pandemie – ein Erfahrungsbericht

1. Problemlage und Motivation

Laborpraktische Arbeit nimmt in der Chemie-Lehramtsausbildung einen großen Stellenwert ein und erfordert damit auch die Präsenz von Studierenden im Labor (Domin, 1999; Hofstein & Lunetta, 1982; Reid & Shah, 2007). Die COVID-19-Pandemie stellt aktuell eine große Herausforderung für Lehrende und Lernende dar. Die universitären Kurse und Laborpraktika mussten schließen und neue digitale Wege finden. Dieser schnelle und unerwartete Übergang von Präsenzlehre zu digitaler Lehre hat große Flexibilität sowie Kreativität gefordert und teils zu innovativen Strategien, Vorlesungen, Tutorien, Seminaren, Laborarbeiten und Bewertungen geführt. Viele Entwicklungen der letzten Jahre, wie zum Beispiel die Verwendung von Videos (Belton, 2016; Jordan et al., 2016), webbasiertem Lernen (Hernandez & Czerwinska, 2008; Holden & Kurtz, 2001; Patterson, 2000), die Erstellung von Echtzeitexperimenten und Online-Spielen mit pädagogischem Schwerpunkt (da Silva Júnior et al., 2020; Dietrich, 2019; Miller, Wentzel, Clark & Hurst, 2019) als auch Augmented-Reality-Lernumgebungen (Estudante & Dietrich, 2020; Plunkett, 2019; Sung et al., 2020) erleichtern den Wechsel zur digitalen Lehre.

Dieser Beitrag zeigt auf, wie am Institut für Didaktik der Chemie in Gießen auf die Situation im Frühjahr 2020 reagiert wurde, um den Lehramtsstudierenden ein möglichst vergleichbares, aber digitales Laborpraktikum zu chemischen Schulversuchen zu bieten.

2. Gestaltung und Umsetzung des digitalen Laborpraktikums

Die Schließung der Universitäten trat im Bundesland Hessen und an der Justus-Liebig-Universität Gießen am 22. März 2020 in Kraft und die Lehre für das anstehende Sommersemester 2020 musste innerhalb weniger Wochen in ein digitales Format umgewandelt werden. Das hier thematisierte und umgestaltete Modul „Didaktik der Chemie 1“ (DC 1) ist ein Einführungsmodul in die Chemiedidaktik für Studierende aller Lehrämter der Sekundarstufe I und II. Regulär wird das Modul im zweiten Semester belegt und besteht aus einer Vorlesung (2h), einem Seminar (2h) und einem Laborpraktikum (2h). In diesem Beitrag steht das Laborpraktikum im Fokus. Es handelt sich normalerweise um ein Blended-Learning-

Format (Hedtrich & Graulich, 2018). Die Studierenden bearbeiten eine Online-Vorbereitungseinheit mit Informationen zur Sicherheit, fachlichen Aufarbeitungen zu den Praktikumsinhalten und einem abschließenden Online-Test. Ein bestandener Test ist Voraussetzung für die Teilnahme am Praktikum und ersetzt die früher typischen Kolloquien oder Testate. Im Laborpraktikum liegt der Fokus auf dem Durchführen typischer Schulexperimente, dem Demonstrieren von Experimenten und Übungen zur Arbeitssicherheit und Unfallschutz. Die Ergebnisse werden in einem Protokoll dokumentiert, welches das Experiment zusätzlich aus fachdidaktischer Perspektive erläutert.

Aufgrund der Pandemie war den Studierenden der Zutritt ins Labor vorerst verwehrt und das DC-1-Modul musste umstrukturiert werden. In einem ersten Schritt wurden dazu die Schulexperimente mit unterschiedlichem Schwerpunkt (Technik der Durchführung, exaktes Beobachten ...) für den Videopool gefilmt und vertont (<https://www.uni-giessen.de/videopool-dc>).



Abbildung 1: Filmen der Experimente. Foto Heiko Barth

Insbesondere die Handhabung der Gerätschaften war für viele Studierende neu, da sie erstmals in einem Labor gestanden hätten. Mit Hilfe der gefilmten Experimente haben wir versucht, den Studierenden eine möglichst realitätsnahe Lernumgebung zu schaffen, indem wir eine Kombination aus fachlichen Inhalten und Experimentiervideos in ILIAS, unserer Lehr- und Lernplattform, bereitgestellt haben. Es entstand für jede Praktikumswoche eine Lerneinheit mit durchschnittlich vier Videos. Am Ende jeder Lerneinheit gab es einen Abschlusstest sowie eine schriftliche Ausarbeitung. Die schriftlichen Ausarbeitungen (zum Beispiel Protokolle, siehe Abbildung 2) wurden über die Lernplattform ILIAS in digitaler Form ausgetauscht. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch, wie eine Ausarbeitung ausgesehen hat.

The screenshot shows the ILIAS online labor unit interface. At the top, there is a header bar with the title '02.1. DC1 Online Labor - Stoffeigenschaften' and a 'Aktionen' button. Below the header, there is a navigation bar with links: 'Inhalt', 'Inhaltsverzeichnis', 'Druckansicht', 'Info', and 'Seite bearbeiten'. The main content area is titled 'Zustandsformen von Wasser' and contains a section 'Ausarbeitung'. The 'Ausarbeitung' section includes a paragraph of text and a list of 5 tasks. To the right of the text, there is a small graphic of a blue flask with a digital display showing 'DC1 Online Labor'.

02.1. DC1 Online Labor - Stoffeigenschaften Aktionen ▾

Inhalt Inhaltsverzeichnis Druckansicht Info Seite bearbeiten

← Zustandsformen von Wasser

Ausarbeitung

Schriftliche Ausarbeitung zu den Experimenten „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Wasser“ und „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Salz-Wasser“

1. Dokumentieren Sie Ihre Beobachtungen für das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Wasser“. Beschreiben Sie dabei unter anderem den Temperaturverlauf sowie das Vorliegen der unterschiedlichen Zustandsformen.
2. Werten Sie das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Wasser“ aus. (Nutzen Sie dazu die Ihnen bei ILIAS in den Übungsaufgaben zur Verfügung gestellten Messwerte sowie aufgezeichneten Graphen). Gehen Sie dabei auf Folgendes ein:
 - 2.1. Kennzeichnen Sie im Graph den Gefrierpunkt und den Siedepunkt (bzw. deren Bereiche).
 - 2.2. Deuten Sie Ihre gemachten Beobachtungen für das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Wasser“ und werten Sie diese aus.
 - 2.3. Beschreiben Sie für welche Vorgänge die Energie der Umgebung/des Brenners im Experiment genutzt wird. Beschreiben Sie dieses Phänomen auch auf der Teilchenebene.
 - 2.4. Vergleichen Sie die Lage des Gefrierpunktes und Siedepunktes von der „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Wasser“ mit der „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Salz-Wasser“ und erläutern Sie Ihre Erkenntnisse.
3. Nennen Sie einen Alltagsbezug für das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Salz-Wasser“ und begründen Sie dies.
4. Nennen Sie ein Basiskonzept für das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Salz-Wasser“ und begründen Sie Ihre Entscheidung.
5. Sie führen das Experiment „Temperaturkurve beim Erhitzen von Eis-Salz-Wasser“ mit Ihren Schülerinnen und Schülern durch. Eine Gruppe zeigt Ihnen ihren aufgezeichneten Graphen. Der Graph zeigt zu Beginn viele Temperaturschwankungen. Nennen Sie zwei mögliche Gründe für diesen ungewöhnlichen Verlauf.

Abbildung 2: ILIAS-Einheit: Exemplarische Ausarbeitung zum Thema Stoffeigenschaften

Die Online-Lerneinheiten waren dreigeteilt: ein Online-Labor, welches den laborpraktischen Teil ersetzt und die Experimente visualisiert, ein vertiefendes Lernmodul, welches inhaltliche Informationen bereitstellt, und ein Abschlusstest, welcher das Wissen aus beiden Einheiten abfragt.

Im Zuge der Erstellung des Online-Praktikums haben wir unsere Materialien und den bisherigen Videopool (<https://www.uni-giessen.de/videopool-dc>) auf unserer Homepage frei verfügbar gemacht, damit auch Lehrkräfte aus Schulen darauf zugreifen können. Hier finden sich neben diversen Schulexperimenten Zeitraffer- und Zeitlupenaufnahmen, Hausaufgaben-Experimente, Theorievideos sowie Videos zu labortechnischen Handgriffen (z. B. Bedienung einer Gasflasche).

3. Präsenzlabor in Zeiten von Corona

Zum Ende des Sommersemesters 2020 wurde ein zweiwöchiges Präsenzlabor von der Hochschulleitung ermöglicht, unter Berücksichtigung der gängigen Hygienevorschriften und Sicherheitsstandards, wie z. B. kein Durchmischen von Personen und Geräten im Labor und das Tragen von Masken bei Unterschreitung des Sicherheitsabstandes. Nach den Vorgaben des Präsidiums war die Anzahl der Personen von ursprünglich 20 Studierenden auf 8 Studierende (12m² pro Person) limitiert. Das Praktikum fand je Kleingruppe 1x wöchentlich à drei Stunden statt. Im

Praktikum selbst hatten die Studierenden einen fest zugewiesenen Platz. Dadurch waren für die Studierenden an einem Praktikumstag nur Experimente an der Laborbank möglich und zu Beginn des jeweiligen Praktikumstages standen alle benötigten Geräte und Chemikalien auf dem Platz bereit. Die Studierenden erhielten im Voraus eine digitale Sicherheitsunterweisung, die rechtliche Grundlagen und allgemein gültige Richtlinien zum Arbeitsschutz und sicherem Arbeiten im Labor behandelt. Eine solche digitale Sicherheitsunterweisung kann auch für zukünftige Veranstaltungen genutzt werden (siehe Abb. 3). Selbstverständlich mussten die Studierenden unterschriftlich den Inhalt der Videos als bekannt bestätigen.



Abbildung 3: Ausschnitt aus der digitalen Sicherheitsunterweisung, welche einen virtuellen Rundgang durchs Labor darstellt. Foto: Heiko Barth

Gemäß der im Frühjahr 2020 geltenden Regeln mussten sich alle Studierenden beim Eintritt ins Labor die Hände waschen, desinfizieren und eine Maske tragen. Am Platz konnten sie die Maske wieder abnehmen, da genügend Abstand zu ihren Platznachbarn bestand. Die Laborleiter trugen durchgehend eine Maske, da sie sich im Labor bewegten (Abb. 4). Nach Durchlauf einer Kleingruppe im Praktikum wurden alle Gerätschaften und Laborbänke desinfiziert und gereinigt, bevor die nächste Kleingruppe das Labor betreten konnte.

Die ausgewählten Experimente für das Präsenzpraktikum im SoSe 2020 umfassten nur einen Bruchteil der Experimente, die die Studierenden im regulär ablaufenden Praktikum durchführen. Wir haben uns bewusst für einfache Experimente zur Glasbearbeitung (Herstellen von Pipetten, Flammenfallen etc.), Untersuchung der Temperaturzonen innerhalb der Brennerflamme, einfache chemische Reaktionen, wie die Reaktion von Kupfer mit Schwefel, das Herstellen von Sauerstoff im Gasentwickler, die Untersuchung desselben auf Brennbarkeit und Brandförderung oder die Reaktion von Magnesium mit Wasser, entschieden. Die Auswahl der Experimente wurde so getroffen, dass möglichst viele Handgriffe, Labortechniken und Versuchsaufbauten sowie elementare experimentelle Tätigkeiten abgedeckt wurden. Durch das Wegfallen des Allgemeinen und Anorganischen Praktikums war dieses Präsenzpraktikum ihr erster Besuch in einem Laborpraktikum an der Universität. Die Studierenden sollten sich durch den praktischen Teil des Moduls erstmals mit den Gerätschaften und Labortechniken vertraut machen.



Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Präsenz-Laborpraktikum. Foto: Heiko Barth

Nachdem sich die Pandemiesituation in Deutschland zugespitzt hat, lief das Praktikum im WiSe 2020/21 unter noch strengeren Bedingungen. Studierende wurden dazu angehalten, während des gesamten Praktikums Masken zu tragen, es gab A- und B-Gruppen, um die Lage an den Abzügen zu entzerren (Gruppe A arbeitet an dem gesamten Praktikumstag an den Abzügen, Gruppe B an der Laborbank).

4. Feedback der Studierenden zum Modul im Sommersemester 2020

Die Lehrenden haben sehr viel persönliches Engagement gezeigt, um eine realitätsnahe digitale Lernumgebung zu schaffen. Das Feedback der Studierenden fiel sehr positiv aus und zeigte Dankbarkeit für die Möglichkeit im Sommersemester an zwei Tagen ins Labor zu können. Im Folgenden sind Ausschnitte aus Feedback-Kommentaren der Studierenden aufgelistet:

- „Sehr viele anschauliche Videos, gute Kommunikation und klares ausführliches Feedback zu den Protokollen“
- „Dass man sich mit den Einheiten sehr gut auf das eigene Experimentieren vorbereiten konnte und sich so relativ sicher fühlte“
- „Praktikum hat gut geholfen Handgriffe zu lernen und zu verstehen, warum diese durchgeführt werden müssen“
- „Teilweise etwas überfordernd, da sehr viele Abgaben, Termine und Fristen zu bedenken waren“
- „Hoher Aufwand zum Bearbeiten der ganzen Lerneinheiten, Aufgaben und Protokolle“

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die COVID-19-Krise und folglich die Schließung der Bildungseinrichtungen hat die Lehrenden und Lernenden vor große Herausforderungen gestellt. Ein hohes Maß an Kreativität und Flexibilität war gefordert. Ziel dieses Beitrags war es, die Erfahrungen dieser herausfordernden Zeiten zu sammeln und zu illustrieren, wie laborpraktisches Arbeiten digital und in Präsenz im Rahmen einer Pandemie umgesetzt werden kann und zumindest theoretisch über die Bereitstellung von Online-Einheiten und Experimentvideos nachvollziehbar gemacht werden kann.

Die positive Bilanz einer solchen Krise ist, dass die Digitalisierung in vielen Bereichen enorm voranschreitet und viele nachhaltige Lernmaterialien entstehen. Beispielsweise die Sicherheitsunterweisung kann digital eingesetzt werden und erspart somit Zeit in Präsenz. Außerdem hat sich die digitale Abgabe der Protokolle bewährt. Sie erspart ebenfalls Zeit im Praktikum und reduziert allgemein die Arbeit mit ausgedruckten Protokollen.

Das Feedback der Studierenden zeigt, dass sie sehr dankbar für die Präsenzveranstaltungen waren und sich durch das umfangreiche Sicherheitskonzept sehr sicher fühlten. Auch wenn aufgrund der Sicherheitsmaßnahmen nur ein eingeschränktes Arbeiten möglich ist, ist es von großer Bedeutung und enorm wichtig, den Studierenden die Möglichkeit zu bieten, praktisch zu arbeiten. Aktuell lässt sich nicht beurteilen, welchen Einfluss ein reines digitales Labor oder nur eingeschränktes experimentelles Arbeiten auf die experimentellen Fähigkeiten der Lehramtsstudierenden und späteren Lehrkräfte hat.

Literatur

- Belton, D. J. (2016). Teaching process simulation using video-enhanced and discovery/inquiry-based learning: Methodology and analysis within a theoretical framework for skill acquisition. *Education for Chemical Engineers*, 17, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.08.003>
- da Silva Júnior, J. N., Santos de Lima, P. R., Sousa Lima, M. A., Monteiro, A. C., Silva de Sousa, U., Melo Leite Júnior, A. J. & Monteiro, A. J. (2020). Time Bomb Game: Design, Implementation, and Evaluation of a Fun and Challenging Game Reviewing the Structural Theory of Organic Compounds. *Journal of Chemical Education*, 97(2), 565–570. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00571>
- Dietrich, N. (2019). Chem and Roll: A Roll and Write Game To Illustrate Chemical Engineering and the Contact Process. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1194–1198. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00742>
- Domin, D. S. (1999). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543. <https://doi.org/10.1021/ed076p543>
- Estudante, A. & Dietrich, N. (2020). Using Augmented Reality to Stimulate Students and Diffuse Escape Game Activities to Larger Audiences. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1368–1374. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00933>
- Hedtrich, S. & Graulich, N. (2018). Lernzuwachs in Blended-Learning Laborpraktika transparent machen – Feedbackfunktionen des LMS erweitern. *CHEMKON*, 25(7), 279–283. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800014>
- Hernandez, M. A. & Czerwinska, J. (2008). A Web-Based Interactive Module to Teach Acid–Base Principles of Drug Action. *Journal of Chemical Education*, 85(12), 1704. <https://doi.org/10.1021/ed085p1704>
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>
- Holden, B. E. & Kurtz, M. J. (2001). Analysis of a Distance-Education Program in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1122. <https://doi.org/10.1021/ed078p1122>
- Jordan, J. T., Box, M. C., Eguren, K. E., Parker, T. A., Saraldi-Gallardo, V. M., Wolfe, M. I. & Gallardo-Williams, M. T. (2016). Effectiveness of Student-Generated Video as a Teaching Tool for an Instrumental Technique in the Organic Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93(1), 141–145. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00354>
- Miller, J. L., Wentzel, M. T., Clark, J. H. & Hurst, G. A. (2019). Green Machine: A Card Game Introducing Students to Systems Thinking in Green Chemistry by Strategizing the Creation of a Recycling Plant. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 3006–3013. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00278>
- Patterson, M. J. (2000). Developing an Internet-Based Chemistry Class. *Journal of Chemical Education*, 77(5), 554. <https://doi.org/10.1021/ed077p554>
- Plunkett, K. N. (2019). A Simple and Practical Method for Incorporating Augmented Reality into the Classroom and Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2628–2631. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00607>
- Reid, N. & Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 172–185. <https://doi.org/10.1039/B5RP90026C>
- Sung, R.-J., Wilson, A. T., Lo, S. M., Crowl, L. M., Nardi, J., St. Clair, K. & Liu, J. M. (2020). BiochemAR: An Augmented Reality Educational Tool for Teaching Macromolecular Structure and Function. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 147–153. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00691>

*Manuel Krug, Valerie Czok, Holger Weitzel,
Wolfgang Müller und Johannes Huwer*

Gestaltungsparameter für Lehr-Lernszenarien mit Augmented-Reality-Anwendungen im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Review

1. Einleitung

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Anwendung von Augmented Reality (AR) in Lehr-Lernszenarien. Für den Bereich der Lehr-Lernforschung ist AR daher von Bedeutung, da ihr das Potenzial zugesprochen wird, positive Auswirkungen auf den Lehr-Lernprozess zu haben (Garzón, Kinshuk, Baldiris, Gutiérrez & Pavón, 2020). Welche „Eigenschaften“ eine „wirksames“ AR-Lehr-Lernszenario jedoch beinhalten muss, wurde bisher kaum erforscht. Oftmals verbleibt es bei einem exemplarischen Aufzeigen einer konkreten Möglichkeit, ohne die Wirksamkeit (z. B. im Hinblick auf Motivation, Wissenserwerb, Selbstregulation, ...) klar zu begründen, da „nur“ das fachdidaktische Szenario im Vordergrund steht. Andererseits gibt es in der Mediendidaktik einige Ansätze, welche für die Gestaltung von AR-Lehr-Lernszenarien von Vorteil sein können, jedoch selten in Verbindung mit naturwissenschaftlichem Unterricht gebracht werden. Der vorliegende Beitrag soll anhand eines Literaturreviews diese beiden Forschungsansätze zusammenbringen und einen Vorschlag für medienfachdidaktische Gestaltungsparameter in naturwissenschaftlichen Lehr-Lernszenarien machen.

2. Definition und Abgrenzung des Begriffs „Augmented Reality“

Unserer Arbeit werden zwei Ansätze zur Definitionen von AR zugrundegelegt. Diese sind zum einen das „Reality-Virtuality-Kontinuum“ nach Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino (1995) und zum anderen die Definition nach Azuma (1997).

Innerhalb des „Reality-Virtuality-Kontinuums“ wird davon ausgegangen, dass sich die „Realität“ und die „Virtuelle Realität“ (VR) gegenüberstehen und sich teilweise überlagern. Dieser überlagerte Bereich wird als „Mixed Reality“ (MR) bezeichnet und je nach Nähe zur Realität oder zur VR in die Begrifflichkeiten AR oder Augmented Virtuality unterteilt.

Im Vergleich zu Milgram et al. definiert Azuma (1997) AR als eine Variante der VR. Für ihn muss eine AR drei Merkmale aufweisen, welche aus der Kombination realer und virtueller Inhalte, einer Interaktivität in Echtzeit und einer funktionierenden 3D-Registrierung bestehen.

Aus der Kombination beider Definitionen lässt sich sagen, dass AR eine Kombination realer und virtueller Inhalte darstellt, bei der die Realität durch digitale Inhalte – interaktiv in Echtzeit und mit funktionierender 3D-Registrierung – ergänzt wird.

3. Review: Lehr-Lernszenarien mit AR-Anwendungen in den Naturwissenschaften Chemie, Biologie und Physik

Zu Beginn des Projektes führten wir ein Review zu bestehender Literatur im Bereich der AR durch, um vergleichbare Studien innerhalb der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr-Lernforschung (in Chemie, Biologie und Physik) und Medienpädagogik sowie Mediendidaktik zu analysieren.

Für die Literaturrecherche wurde die Datenbank „Google Scholar“ mithilfe des Programms „Publish or Perish“ nach Wortkombinationen der Begriffe „Augmented Reality“, „Chemistry“, „Biology“, „Physics“ und „STE(A)M“ (Science, Technology, Engineering, (Art,) Mathematics) durchsucht und die folgende Syntax verwendet: „Augmented Reality“ AND „Chemistry“ OR „Biology“ OR „STEM“ OR „STEAM“ OR „Physics“. Um die Anzahl der zu untersuchenden Publikationen auf eine überschaubare Anzahl zu begrenzen, wurde die Suche auf die Titel der Publikationen begrenzt.

3.1 Verteilung der Publikationen von 2004 bis 2020

Bei der Analyse zeigte sich, dass vor dem Jahr 2004 keine zur Syntax passende Publikation gefunden werden konnte und dass die Anzahl der Publikationen ab dem

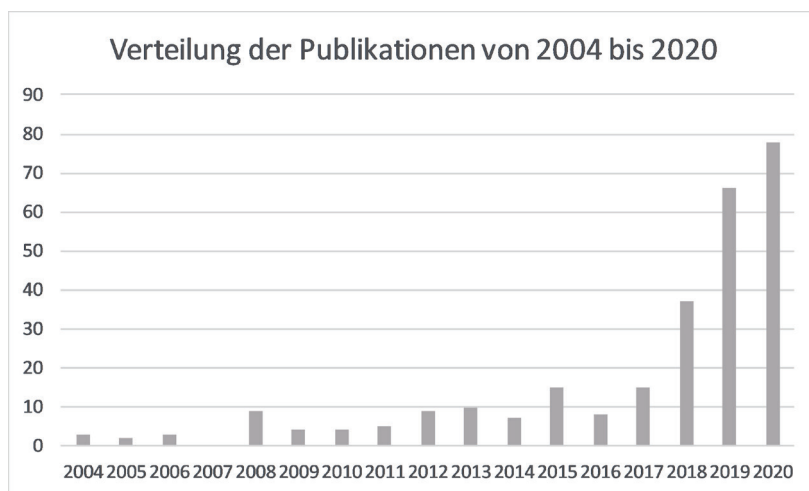


Abbildung 1: Verteilung der Publikationen von 2004 bis 2020.

Jahr 2017 jährlich deutlich zunahm. Abbildung 1 zeigt die Verteilung aller ermittelten Publikationen bis 2020.

3.2 AR im naturwissenschaftlich-didaktischen Kontext

Durch die Literatursauswertung konnte festgestellt werden, dass AR bereits in verschiedensten Lehr-Lernumgebungen genutzt wird und dass ihre positive Wirkung durch die Beeinflussung verschiedener Wirkungsgrößen entsteht. So zeigte sich bspw. in der Publikation „Augmented Reality Lab License 2.0“ von Seibert et al. (2019), dass Schüler*innen eine Motivationssteigerung erfuhren, als diese ein Chemielabor mit angereicherten Informationen (auf einem Mobile Device) erkundeten. Ein weiterer positiver Effekt des Lehr-Lernszenarios zeigte sich durch die Möglichkeit, in Kleingruppen verschiedene Stationen des Laborführerscheins zu bearbeiten und auf diese Weise eine höchstmögliche Selbstständigkeit und Selbstregulation zu erfahren.

Eine weitere AR-gestützte Lehr-Lernumgebung zeigte sich in der Publikation von Garcia-Bonete, Jensen und Katona (2019), in der die Sketchfab-App dafür verwendet wurde, Biologiestudent*innen die 3D-Struktur von Molekülen näherzubringen. Mit Hilfe dieser Anwendung konnten Moleküle im Raum platziert und mithilfe eines digitalen Endgeräts, bspw. einem Smartphone, von allen Seiten betrachtet werden. Auf diese Weise konnte das räumliche Vorstellungsvermögen der Student*innen gefördert und ein besseres Verständnis des Themas erreicht werden (Garcia-Bonete et al., 2019).

Ein weiteres Beispiel konnte in der Publikation von Huwer et al. (2018) gefunden werden. Hier wurden Arbeitsblätter, welche begleitend zu Schüler*innenexperimenten bearbeitet wurden, digital angereichert. Die Anwendung sollte den Schüler*innen nach dem Konzept „Information on Demand“ differenzierende Hilfestellungen zur Verfügung stellen, welche diese gezielt bei Bedarf nutzen konnten. So konnte ebenfalls die Selbstwirksamkeit der Schüler*innen positiv gefördert werden. Weiter hatte die AR-Lehr-Lernumgebung den Effekt, dass durch die digitalen Inhalte chemische Prozesse visualisiert werden konnten, welche normalerweise nicht sichtbar sind. So konnten Fehlvorstellungen der Schüler*innen reduziert und das Verständnis der Sachinhalte gefördert werden (Huwer et al., 2018).

4. Gestaltungskriterien von AR-Lehr-Lernszenarien

In Publikationen taucht immer wieder die Information auf, dass die vorgestellten Lehr-Lernszenarien mit sogenannten Autorentools erstellt wurden. Der Vorteil solcher Tools besteht darin, dass mit ihrer Hilfe auch ohne Programmierkenntnisse eigene Lehr-Lernszenarien erstellt werden können (Tschiersch, Krug, Banerji &

Huwer, submitted), sodass die Frage nach medien(fach)didaktischen Gestaltungskriterien von aktueller Relevanz ist. Um Gestaltungskriterien für Lehr-Lernszenarien mit AR-Anwendungen aufzustellen, untersuchten wir zunächst bestehende Literatur auf wichtige Parameter, welche für die „Wirksamkeit“ von Lehr-Lernszenarien mit AR-Anwendungen sprechen. Hierdurch ergab sich eine Ansammlung verschiedener Parameter, welche teilweise wiederkehrend oder nur vereinzelt erwähnt wurden. Um die Liste der möglichen Parameter einzugrenzen, wurden nur diejenigen gewählt, welche in mehreren Publikationen erwähnt wurden. Diese Parameter sind Immersion, Interaktivität, Kongruenz mit der Realität, Adaptivität und inhaltliche Nähe zur Realität.

4.1 Immersion

Slater and Wilbur (1997) definieren Immersion als die Beschreibung einer Technologie, deren Grad darüber Auskunft gibt, inwieweit es der Anwendung möglich ist, den Sinnen des Anwenders eine umfassende, umhüllende und lebendige Illusion der alternativen Realität zu vermitteln. Zur Bewertung kann die Anzahl der angesprochenen Sinne (Sehen, Hören, Tasten, Riechen und Schmecken) verwendet werden.

4.2 Interaktivität

Interaktivität ist definiert als das bewusste Handeln mit einem Objekt, Gegenstand oder Inhalt einer Multimediakomponente und damit bewusst vom Begriff Interaktion abgegrenzt, welcher für die Kommunikation zwischen Personen reserviert wird (Schulmeister, 2005). Diese Form der Interaktivität wird durch Schulmeister in sechs Stufen eingeteilt. Diese sind:

- I Objekte betrachten und rezipieren
- II Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren
- III Die Repräsentationsform variieren
- IV Den Inhalt der Komponenten beeinflussen: Variation durch Parameter- oder Datenvariation
- V Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren und Prozesse generieren
- VI Konstruktive und manipulierende Handlungen mit situationsabhängigen Rückmeldungen

4.3 Kongruenz mit der Realität

Der Parameter Kongruenz mit der Realität lehnt sich an die Definition von Realismus nach McMahan (2003) an. Hierbei wird Realismus in Sozial- und Wahrnehmungsrealismus unterteilt. Sozialrealismus gibt hierbei darüber Auskunft, wie plausibel und lebensnah Ereignisse und soziale Interaktionen, im Vergleich zur Realität, widerspiegelt werden. Wahrnehmungsrealismus hingegen beschreibt, wie gut bspw. Objekte und Ereignisse – in Bezug auf Aussehen, Klang usw. – dem Original entsprechen. Zur Bewertung des Parameters werden die sozialrealistischen Indikatoren Plausibilität und Lebensnähe sowie die wahrnehmungsrealistischen Indikatoren Proportionen, Fotorealismus, Licht- und Schatteneffekte sowie funktionierende 3D-Registrierung genutzt.

4.4 Adaptivität

Die Definition, wonach Adaptivität die Fähigkeit eines Programms oder einer Person ist, sich an verschiedene Situationen anzupassen, wird um zwei weitere Definitionen ergänzt. Hierfür wurde zum einen die Definition nach Paramythis and Loidl-Reisinger (2004) aus der Lehr-Lernforschung und zum anderen die Definition nach Söldner (2012) aus der Informationstechnik verwendet. Durch diese Kombination kann Adaptivität als die Fähigkeit eines Programms zur Reaktion auf eine Nutzeraktivität, ein Ereignis oder auf eine Veränderung der Situation oder alles zusammen betrachtet werden. Als Reaktion kann hierbei eine dynamische Veränderung des Lehr-Lernprozesses durch die Anpassung eines Softwareelementes oder Dienstes verstanden werden.

Wir schlagen vor, Adaptivität in vier Stufen einzuteilen. Dies sind:

- I Keine erkennbare Adaptivität
- II Adaptivität durch die Einstellung von Parametern aufgrund sich verändernder Bedürfnisse vor dem eigentlichen Start der Anwendung
- III Adaptivität durch die Möglichkeit zur manuellen Anpassung von Parametern, im Verlauf der Anwendung
- IV Adaptivität durch automatisch erfolgende Anpassung der Anwendung aufgrund von Nutzeraktivitäten, Ereignissen oder sich verändernden Situationen durch die automatische Auswertung von Sensordaten oder Eingabeinformationen

4.5 Inhaltliche Nähe zur Realität

Der Parameter „Inhaltliche Nähe zur Realität“ definiert zum einen die Plausibilität von Programminhalten in Bezug auf lokale (örtliche), temporale (zeitliche)

und kausale (logische Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung) Faktoren, und zum anderen wie plausibel die Darstellung und Wahl der Trackingmethode ist. Um eine Überschneidung mit dem Parameter „Kongruenz mit der Realität“ zu vermeiden, wird die Bewertung der Programminhalte in Bezug auf äußerliche Merkmale unberücksichtigt gelassen.

5. Konklusion und Ausblick

Das Review zeigt, dass die Anzahl unterrichtsrelevanter Beiträge zu AR-gestützten Lehr-Lernszenarien in den naturwissenschaftlichen Fächern Chemie, Biologie und Physik in den letzten Jahren nahezu exponentiell zunimmt. Gleichzeitig ist die Soft- und Hardware immer häufiger für den Unterricht verfügbar, sodass AR-gestützte Lehr-Lernszenarien ohne Programmierkenntnisse erstellt werden können. Umso wichtiger ist es, dass die vorgeschlagenen medienfachdidaktischen Gestaltungsparameter bei der Gestaltung von Lehr-Lernszenarien mit AR berücksichtigt werden. Eine erste Analyse der Literatur hat ergeben, dass in den vorgestellten Lehr-Lernszenarien meistens 1–2 Parameter im Vordergrund stehen und diese fokussiert adressiert werden. Es gibt in naturwissenschaftlichen Settings bisher keinen Hinweis darauf, dass es von Vorteil ist, alle Parameter gleichzeitig zu optimieren. Es zeigte sich vielmehr, dass es in vielen vergleichbaren Lehr-Lernszenarien immer gleiche Profile der geförderten Parameter gibt. Gegenstand zukünftiger Forschung soll es sein, diese Profile zu schärfen und mit Hilfe eigener Prototypen zu testen.

Literatur

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>
- Garcia-Bonete, M.-J., Jensen, M. & Katona, G. (2019). A practical guide to developing virtual and augmented reality exercises for teaching structural biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education: A Bimonthly Publication of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, 47(1), 16–24. <https://doi.org/10.1002/bmb.21188>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J. & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dörrenbächer-Ulrich, L. & Perels, F. (2018). Re-Experiencing Chemistry with Augmented Reality: New Possibilities for Individual Support. *World Journal of Chemical Education*, 6(5), 212–217. <https://doi.org/10.12691/wjce-6-5-2>
- McMahan, A. (2003). Immersion, Engagement, and Presence: A Method for Analyzing 3-D Video Games. In M.J.P. Wolf & B. Perron (Hrsg.), *The Video Game Theory Reader* (S. 67–86). Routledge.

- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *SPIE Proceedings, Telemanipulator and Telepresence Technologies* (S. 282–292). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Paramythis, A. & Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive Learning Environments and e-Learning Standards. *Electronic Journal on E-Learning*, 2(1), 181–194. https://www.researchgate.net/publication/252163501_Adaptive_Learning_Environments_and_e-Learning_Standards
- Schulmeister, R. (2005). *Interaktivität in Multimedia-Anwendungen*. <https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/interaktiv/InteraktivitaetSchulmeister.pdf>
- Seibert, J., Lang, V., Marquardt, M., Lauer, L., Peschel, M., Perels, F. & Kay, C.W.M. (Hrsg.) (2019). *Augmented Reality Lab License 2.0*. https://www.researchgate.net/publication/340629075_Augmented_Reality_Lab_License_20
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Söldner, G. (2012). *Semantische Adaption von Komponenten* (Doktorarbeit). Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen. <https://opus4.kobv.de/opus4-fau/frontdoor/index/index/docId/2772>
- Tschiersch, A., Krug, M., Banerji, A. & Huwer, J. (submitted). Arbeiten mit erweiterter Realität im Chemieunterricht. *CHEMKON*.

Videos in der chemiedidaktischen Lehre – von der Rezeption zur Produktion

1. Einführung

Insbesondere in Zeiten von Distanzunterricht hat die Integration digitaler Medien in den Schulunterricht an Dringlichkeit und Akzeptanz gewonnen. Lehrkräfte an Schulen verfügen naturgemäß über unterschiedliche mediale Gewohnheiten und Fertigkeiten. Als Extrema wären Personen anzusehen, die zu Beginn der Corona-Pandemie noch keinen E-Mail-Account hatten und sich mitunter beim Einsatz digitaler Endgeräte schwertun, andersherum gibt es jene, die komplett digital und ohne jegliches Papier ihren Unterricht und einen großen Teil ihres Alltags bestreiten. Beide Gruppen können hervorragenden Unterricht gestalten, auf mitunter sehr verschiedene Weise. Für alle Lehrkräfte gelten jedoch die gleichen bildungspolitischen Vorgaben und externen Bedingungen, wie jüngst zur Pandemiezeit, die die Integration digitaler Medien in den (Distanz-)Unterricht und zu fördernde digitalisierungsbezogene Kompetenzen bei Schüler*innen notwendig machen.

2. Digitale Lebenswelt und Nutzerverhalten von Lernenden

In der aktuellsten Studie „Jugend, Information, Medien“ (JIM-Studien untersuchen seit 1998 jährlich das Medienverhalten von 12- bis 19-jährigen Jugendlichen in Deutschland) geben die befragten Jugendlichen hinsichtlich der Geräteausstattung im Haushalt an, dass 99 % über einen WLAN-Anschluss und 98 % über ein Smartphone und ebenso viele über einen Computer oder Laptop verfügen. Zur Medienbeschäftigung in der Freizeit wurde erhoben, dass die Nutzung von Internet und Smartphone mit 97 % und das Betrachten von Online-Videos mit 90 % zu den regelmäßigen medialen Aktivitäten zählen, die täglich bzw. mindestens mehrmals pro Woche durchgeführt werden. Wochentags beträgt die durchschnittliche Onlinezeit 258 Minuten. Verwendeten die Jugendlichen im Jahr 2010 noch 17 % der Onlinezeit auf Informationssuche, waren es im Jahr 2020 bereits 28 %. Bei den beliebtesten Internetangeboten sind als Spitzenreiter in abgestufter Reihenfolge YouTube, Instagram und Whatsapp genannt. Im Jahr 2020 ließ sich im Vergleich zum Vorjahr ein deutlicher Sprung bei der Nutzung von YouTube-Videos zur Information über Themen von 55 % auf 65 % der Jugendlichen feststellen (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2020).

Aus dem geschilderten Medienverhalten Jugendlicher lässt sich ableiten, dass ein internetbasierter Zugang zu schulischen Bildungsinhalten, transportiert über Videos, eine nutzerangepasste Möglichkeit für schulisches Lernen sein kann.

Unter Lernenden gelten Videos als hoch akzeptierte Medien. Die noch vor der Corona-Pandemie durchgeführte, verkürzt „YouTube-Studie“ genannte repräsentative Studie „Jugend / YouTube / Kulturelle Bildung. Horizont 2019“ (Rat für Kulturelle Bildung, 2019) hat ebenfalls die Zielgruppe der Jugendlichen zwischen 12 und 19 Jahren in den Blick genommen und Bezüge zu schulischem Lernen hergestellt. Fast die Hälfte der Befragten erachten YouTube-Videos als relevant für schulische Belange. Aus dieser Gruppe heraus nutzten 73 % YouTube-Videos zur Wiederholung nicht verstandener Unterrichtsinhalte, 70 % für Hausaufgaben/Hausarbeiten, 66 % stuften Videos für die Nutzung zur Wissensvertiefung als bedeutend ein und 60 % nutzten Videos für Prüfungsvorbereitungen. Aus diesen und weiteren Befunden, z. B. aus den o.g. JIM-Studien, lässt sich ableiten, dass YouTube längst zum Akteur im Bildungssektor avanciert ist. Damit verbunden ist allerdings das Problem, dass YouTube-Inhalte kommerziell gesteuert werden und Hinweise auf deren Qualität meist nur aus durch Algorithmen ermittelte Zahlen der Clicks und maximale Seh- und Verweildauern abgeleitet werden, nicht aber über zugrundeliegende pädagogische Konzepte oder andere Qualitätskontrollen.

Als ein weiteres Ergebnis der YouTube-Studie seien die Wünsche von Schüler*innen nach schulischer Unterstützung bei der Herstellung eigener Videos (Film/Schnitt/Beleuchtung) sowie nach einer kritischen unterrichtlichen Auseinandersetzung mit dem Medium YouTube (Erörterung von Vor- und Nachteilen der Plattform, Hinterfragen von Videoinhalten) genannt. Daraus erwächst für die Lehrkräfte die Herausforderung, geeignete Unterrichtsangebote zur Gestaltung bzw. der Unterstützung der Gestaltung eigener Inhalte zu entwickeln und einzusetzen sowie Lerngelegenheiten für einen medienkritischen Umgang mit und Reflexion über angebotene Inhalte zu bieten.

Neben den geschilderten, die Lebenswelt der Schüler*innen betreffenden Aspekten existieren bildungspolitische Vorgaben ausgehend vom europäischen „Dig-CompEdu“ (European Commission, 2017) über KMK-Vorgaben „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2016) und schließlich länderspezifische verbindliche Kompetenzbeschreibungen sowohl für Schüler*innen „Medienkompetenzrahmen NRW“ (Medienberatung NRW, 2020a) als auch für Lehrkräfte „Lehrkräfte in der digitalisierten Welt“ (Medienberatung NRW, 2020b).

Daraus ergibt sich insgesamt die Notwendigkeit, bereits in der Lehrkräfteausbildung sowohl die medienkritische Nutzung, die mit Mehrwert verbundene didaktische Einbettung bereits existierender Videos in geeigneten Kontexten als auch die eigene Produktion von Videos bzw. die Anleitung dazu in den Fokus zu nehmen.

3. Ausgewählte Einsatzszenarien von Videos in der chemiedidaktischen Lehre

Auch in der ersten Ausbildungsphase an der Universität sind die Vorerfahrungen und bereits entwickelten digitalisierungsbezogenen Kompetenzen unter Lehramtsstudierenden unterschiedlich stark ausgeprägt. Zwar ordnet man Studierende oft der Gruppe der *digital natives* zu, doch haben kurze Abfragen jeweils zu Beginn unserer fachdidaktischen Lehrveranstaltungen ergeben, dass zwar bei der Mehrheit Sicherheit bei der Nutzung der Basisfunktionen von Textverarbeitungs-, Präsentations- und Tabellenkalkulationsprogrammen – in der hier gewählten Reihenfolge – besteht. Über die allgemeine Nutzung hinausgehende Aspekte, wie z. B. das automatische Erstellen von Verzeichnissen oder die Nutzung von Masterfolien, gehören hingegen eher selten zum Repertoire der Studierenden. Dies tritt auch beim Verfassen von Abschlussarbeiten zutage. Erfahrungen mit dem Medium Video beruhen eher auf einem rezeptiven Ansatz, sehr wenige der von uns befragten Studierenden hatten bereits im Bildungskontext selbst Videos geplant und produziert. Auch die Bearbeitung und Aufbereitung von hochwertigen Fotos für Bildungskontexte lag bei der Mehrzahl nicht im Fokus.

National und international konnte gezeigt werden, dass Lehrkräfte zunächst im Rahmen ihrer Ausbildung darauf vorbereitet werden müssen, ihren Unterricht und Lernprozesse durch den Einsatz digitaler Medien gewinnbringend zu planen und durchzuführen (Tondeur et al., 2019) bzw. (van Ackeren et al., 2019) bevor sie dies in der eigenen Praxis umsetzen können. Auch daraus lässt sich ein Desiderat hinsichtlich des Ausbaus der Förderung der digitalisierungsbezogenen Kompetenzen der Lehrkräfteausbildung formulieren.

Im Folgenden werden drei verschiedene Lehrszenarien beschrieben, in denen Videos im Lern- bzw. Lehrprozess in der chemiedidaktischen Lehre eingesetzt wurden. Ausgehend von der eigenen Nutzung zur Aneignung von Lerninhalten sollen die Studierenden Videos sukzessive produktiv und mit Blick auf den Einsatz in didaktischen Lehr-Lernsettings behandeln. Der Ansatz „von der Rezeption zur Produktion“ ist analog zum Sprachenlernen gedacht. Auch beim Sprachenlernen fällt es Lernenden zunächst deutlich leichter, Äußerungen in einer fremden Sprache aufzunehmen und zu verstehen, als selber produktiv Sprachäußerungen zu tätigen.

3.1 Rezeption von Videos zur Aneignung von Sachinhalten

Im ersten beschriebenen Setting werden Videos von den Studierenden als Lernmedium eingesetzt. Bei den Videos handelt es sich um durch die Wuppertaler Chemiedidaktik produzierte Versuchsvideos für durch Corona-bedingt online durchgeführte Vorlesungen, die regulär als Experimentalvorlesungen angeboten werden. Grundsätzlich stellt sich die Frage der Legitimation des Ersatzes der Primärerfahrung des Realexperiments durch ein Video, wobei die Vorteile von videograferten Versuchen in digitalen Vorlesungen bei sehr großen Kohorten und schlechter Raumausstattung, bei Langzeitversuchen oder dem Umgang mit gefährlichen Substanzen auf der Hand liegen. Da nicht nur die Lehrkräfte an Schulen, sondern auch die Dozierenden an Universitäten hinsichtlich ihrer digitalisierungsbezogenen Kompetenzen Entwicklungsschleifen durchlaufen, handelt es sich bei den Versuchsvideos um technisch unterschiedlich elaborierte Erzeugnisse, die nach dem ersten Durchlauf infolge einer Befragung der Studierenden am Ende des Semesters überarbeitet werden bzw. wurden. Die Videos wurden phasiert in Anlehnung an den Aufbau eines Versuchsprotokolls gefilmt, wobei sie bewusst keine Deutung oder weiteren Erklärungen enthalten. Die Videos umfassen eine Titelfolie, die Präsentation der verwendeten Chemikalien in den entsprechenden Gebinden, mit den entsprechenden Namen beschriftete Materialien sowie die gefilmte Durchführung des Versuchs, bei der die Beobachtung teils durch Zeitraffer- oder Slowmotion-Aufnahmen und nebeneinander gesetzte Standbilder unterstützt wird.

Die videografisch angebotenen Versuche dienten als Ausgangspunkt für die anschließende Erarbeitung der zugrundeliegenden chemischen Prozesse in der Lehrveranstaltung und wurden von den Studierenden auch zur Nachbereitung der Vorlesung bzw. für die Klausurvorbereitung verwendet, wie eine anschließende Online-Befragung der Studierenden ergab. Der Online-Fragebogen wurde an 228 Studierende versendet, von denen nur $n = 48$ Personen den Fragebogen vollständig und auswertbar bearbeiteten. Damit sind die im Folgenden beschriebenen ausgewählten Ergebnisse nur als vorsichtige Einschätzungen zu verstehen.

Bei der Frage, ob die Studierenden in der Vorlesung Versuche live oder per Video dargeboten bevorzugen, sprachen sich 44 von 48 Studierende für das Video aus, wobei sie als Vorzüge eine bessere Sichtbarkeit, mögliches Pausieren und Wiederholen von Sequenzen u. a. für Kommentare durch die Dozentin, die Möglichkeit der Demonstration auch zeitaufwändiger Versuche sowie Beschriftungen durch eingeblendete Textfenster anführten. Die Studierenden wurden gebeten, Kritikpunkte an den Videos zu nennen bzw. Wünsche für weitere Überarbeitungsschleifen zu äußern. Während 40 % keine Kritikpunkte anführten, bemängelten 27 %, dass nicht alle Geräte beschriftet und an einigen Stellen die Durchführung nicht immer gut erkennbar war, teils, weil zugunsten einer Detailaufnahme oder einer kurzfristig sichtbaren Hand der experimentierenden Person nicht die komplette Apparatur sichtbar war. Zudem wurde eine bessere Erkenn-

barkeit der einzelnen Arbeitsschritte, z. B. durch eingeblendete Beschriftungen, gewünscht. Knapp 66 % der Studierenden wünschten eine Vertonung, wobei sie sowohl wichtige Geräusche während des Versuchsgeschehens als auch Kommentare zur Durchführung und Auswertung nannten. Da es sich bei den produzierten Videos bewusst nicht um Erklärvideos handelt, wurde letzterer Aspekt nicht in die Iterationsschleifen der Optimierung aufgenommen. Die Tonspur enthält lediglich versuchstechnisch bedingte wahrnehmbare bzw. für die Beobachtung relevante Geräusche, z. B. beim Einfüllen von Chemikalien oder bei einer Knallgasprobe.

Die Merkmale der aufgrund der Studierendenbefragung vorgenommenen Optimierungen sind u. a.

- eine verbesserte Ausleuchtung,
- der Einsatz verschiedener Stativ- und Kameras und dadurch mögliche Veränderungen des Kamerawinkels im Video,
- das Einfügen einer Tonspur und Sprungmarken,
- ein klar gekennzeichnete protokollanaloger Aufbau, z. B. Benennung von Geräten und Chemikalien,
- beim Schnitt eingefügte Beschriftungen (vgl. Abb. 1b),
- Zeitraffer- und Slow-Motion-Aufnahmen (vgl. Abb. 1b),
- Detailaufnahmen (vgl. Abb. 1c),
- Wiederholungen und Zusammenfassungen (vgl. Abb. 1d),
- teilweise die Integration von Diagrammen von Messwerten.

Die Videos in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien sind kostenlos online über die Homepage der Wuppertaler Chemiedidaktik zugänglich (Didaktik der Chemie, 2021).

Die Studierendenbefragung hinsichtlich möglicher Überarbeitungen der Videos ist auch ein erster Schritt zur kritischen Bewertung der Gestaltung von Videos und die Reflexion über mögliche Optimierungen auf einer Metaebene und kann den Grund für eine (Neu-)Bewertung frei verfügbarer Ressourcen, z. B. auch YouTube-Videos, durch kritisches Sichten und Diskussion des Gezeigten oder die Produktionsweise bereiten und in späteren Lehrveranstaltungen wieder aufgegriffen werden.

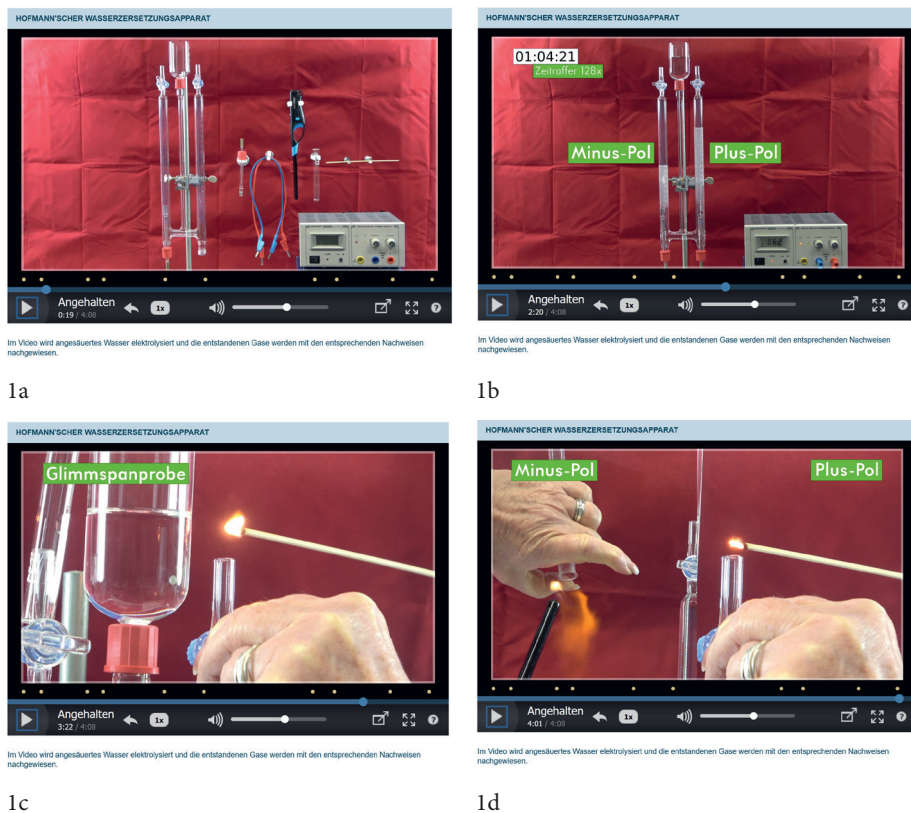


Abbildung 1: Abbildung aller benötigten Materialien, Beschriftungen und Zeitraffer-Aufnahmen, Detailaufnahmen und Zusammenfassung verschiedener Teile des Versuchs als Beispiele einiger Elemente der überarbeiteten Videos

3.2 Reflexion von Videos hinsichtlich ihres möglichen didaktischen Einsatzes

Das zweite Setting fokussiert auf den Einsatz von Videos in Lehrsettings und auf die kritische Diskussion und Bewertung frei verfügbarer Versuchsvideos im Corona-bedingt digitalen Teil eines Schulexperimentierpraktikums. Aufgrund der notwendigen Hygienemaßnahmen konnte im Sommersemester 2020 jeweils nur eine halbe Kohorte alternierend in Präsenz an dem Praktikum teilnehmen. Die andere Hälfte durchlief parallel einen digitalen Praktikumsteil, wobei diese Notwendigkeit zugleich die Chance bot, den zuvor eher experimentell angelegten Schwerpunkt des Kompetenzerwerbs zu erweitern. Der digitale Praktikumsteil wurde umstrukturiert, indem es die Schulversuche des Praktikums rein theoretisch oder basierend auf eigens durch die Chemiedidaktik oder extern produzierten Versuchsvideos auszuwerten galt. Ferner mussten bestehende Versuchsvorschriften an das zu betrachtende Videomaterial angepasst werden oder es wurden ergänzend fachbezogene und didaktische Arbeitsaufträge zu den Videos formuliert (vgl. Abb. 2).

Zur Dokumentation des digitalen Praktikumsteils wurden verschiedene kooperative, digitale Whiteboards wie Flinga oder Awwap getestet, wobei den Studierenden der Zugang durch QR-Codes oder Links ermöglicht wurde. Zur weiteren Interaktion wurden Abfrage- oder Quiz-Tools wie Kahoot oder Mentimeter eingebunden.

Bezüglich des erweiterten Kompetenzerwerbs wurde im digitalen Praktikumsteil die Stärkung von Medienkompetenzen zum Handlungsfeld „Unterrichten“ des Orientierungsrahmens „Lehrkräfte in der digitalisierten Welt“ (Medienberatung NRW, 2020b) mit folgenden (medien-)didaktischen Foki in den Vordergrund gerückt:

- Bewertung der medientechnischen Umsetzung von verfügbaren Versuchsvideos hinsichtlich der fachlichen Inhalte
- Begründung des zielgruppengerechten Einsatzes von Videos
- Begründung von mediendidaktischen Entscheidungen hinsichtlich des Einsatzes von Videos im Chemieunterricht

Bewertung der medientechnischen Umsetzung von Versuchsvideos hinsichtlich der fachlichen Inhalte	Begründung von mediendidaktischen Entscheidungen hinsichtlich des Einsatzes von Videos im Chemieunterricht
 <p>Bildquelle: PDstChemistr (2017) Screenshot aus Video, online unter: s.u.</p>	 <p>Bildquelle: Didaktik der Chemie (2020). Screenshot aus Video, online unter: s.u.</p>
<p>Thema: Ermittlung der Strukturformel von Ethanol Uni@Home 2020</p> <p>1) Schauen Sie ergänzend zur Versuchsvorschrift das folgende Video https://www.YouTube.com/watch?v=Q2X3bvThK_A und formulieren Sie eine Auswertung.</p> <p>2) Beurteilen Sie die Umsetzung des Videos hinsichtlich der Darstellung fachlicher Inhalte.</p> <p>3) Beurteilen Sie die Umsetzung des Videos hinsichtlich der Medienproduktion und zeigen Sie Änderungsmöglichkeiten auf. Geben Sie auch an, wie Sie diese für eine eigene Videoproduktion umsetzen würden.</p>	<p>Thema: PMMA-Synthese in der Flachkammer Uni@Home</p> <p>1) Betrachten Sie für die Auswertung des Versuchs das folgende Video und vergleichen Sie die experimentelle Durchführung im Video mit der Ihnen ausgeteilten Vorschrift: https://video.uni-wuppertal.de/portal/Play/5a2ce7b3d0cc4b7ebce1f9e95d40d68b1d</p> <p>2) Begründen Sie aufgrund didaktischer Überlegungen, welche Durchführung sich für welches Unterrichtssetting besser eignet.</p> <p>3) Begründen Sie, wie Sie diese Form des Videos im Chemieunterricht einsetzen würden und diskutieren Sie Vor- und Nachteile des Einsatzes.</p>

Abbildung 2: Beispiele für Arbeitsaufträge im digitalen Praktikumsteil

Durch diese Erweiterung der geförderten Kompetenzbereiche wurde erneut ein kritischer Umgang mit bestehenden Videos, nun mit besonderem Fokus hinsichtlich der Darstellung von Fachinhalten und der Medienproduktion, geübt sowie die begründete Integration von Videos in den Chemieunterricht diskutiert und damit auf verschiedene mögliche Einsatzszenarien abgezielt.

3.3 Produktion eigener (Erklär-)Videos

Im dritten didaktischen Setting erhalten die Studierenden im Master of Education die Möglichkeit, eigene (Erklär-)Videos zu innovativen Versuchen und für sie neuen Sachverhalten zu konzipieren und produzieren. Dabei erfolgt die Produktion der Videos im Rahmen eines bereits mehrfach durchgeführten Seminars, in dem die Studierenden eine experimentorientierte Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II unter Einbezug digitaler Medien inklusive der geplanten Unterrichtsmaterialien in Print- und Elektronikform entwickeln. Z. T. unter Einbezug weiterer Expertise vom Lehrstuhl für Didaktik der visuellen Kommunikation (Universität Wuppertal) wird von den Studierenden ein Video geplant, produziert und anschließend mit Bezug auf den geplanten Kontext der Unterrichtseinheit präsentiert.

Die Intention der Veranstaltung ist die Förderung fachbezogener, chemiedidaktischer, mediendidaktischer und technischer Kompetenzen, in Anlehnung an die Forderung der Ausbildung eines technologisch-pädagogischen Inhaltswissens nach dem TPACK-Ansatz (Koehler, Mishra & Cain, 2013). Wie die Befragungen unserer Studierenden ergeben, ist die Förderung auch des Einsatzes technologischer Werkzeuge im Unterricht nach wie vor aktuell und notwendig. Durch die eigene Planung und Produktion der Videos gewinnen die Studierenden – wie analog auch Schülerinnen und Schüler bei entsprechenden Unterrichtsprojekten – Einblicke in die Möglichkeiten der Darstellung von Sachverhalten und auch deren Manipulation, z. B. durch geschickte Schnitte des Filmmaterials, und können in Folge vorhandene Angebote kritischer bewerten. Das Vorgehen bei der Videoproduktion lässt sich in folgende Schritte gliedern:

- Sichten verschiedener bereits existierender Erklärvideos und Diskussion positiver / negativer Umsetzungsaspekte
- Erstellung eines Storyboards und Diskussion / Optimierung
- Einüben der zu filmenden Versuche
- Filmphase (Labor- und Außenaufnahmen)
- Schnitt und weitere Bearbeitung
- Präsentation des Videos und Diskussion in Zusammenhang mit der geplanten Unterrichtseinheit

Die Integration in eine Unterrichtseinheit erfordert automatisch eine Reflexion über die Funktion des Videos im Lehr-/Lernprozess, so dass keine Produktion um ihrer selbst Willen erfolgt.

Als ein wesentlicher Produktionsschritt ist die Erstellung und ggf. Überarbeitung eines Storyboards hervorzuheben, das neben Angaben zu den zu filmenden Inhalten und Einzelsequenzen auch bereits den Text für die geplante Tonspur enthält sowie einzelne Phasen des Videos konkret, inklusive bereitzustellender Materialien, benennt (z. B. Einleitung durch Alltagskontext durch Eingießen von Hefeweizen in ein Glas, Präsentation der notwendigen Geräte und Chemikalien, Darstellung der Prozesse auf Teilchenebene oder mittels gezeichneter oder haptischer Modelle, Einführung von Gleichungen etc.) und Informationen zu Kamera-positionen und Bildausschnitten enthält.

Die Studierenden bemühen sich i.d.R. bei der Produktion mit großer Kreativität um das Video rahmende Alltagsbezüge, eine angemessene didaktische Strukturierung der Darbietung der Inhalte und den wahrnehmungsaktiven Aufbau von Versuchen, wie aus der beispielhaften Bildfolge eines Studierendenprodukts in Abb. 3 erkennbar ist. Ausgehend von Bekanntem, wie hier der Hefegärung, wird das Thema der für biologische Brennstoffzellen nutzbaren Redoxaktivität von Hefe aufgeworfen. Erklärungen erfolgen mit ansteigendem Grad an Detailliertheit ausgehend von Wortgleichungen hin zu Teil- und Gesamtgleichungen und schematischen Darstellungen von Prozessen in einer biologischen Brennstoffzelle. Es wird die Funktionsweise biologischer Brennstoffzellen erklärt und abschließend eine Anwendung in der modernen Medizin gezeigt.

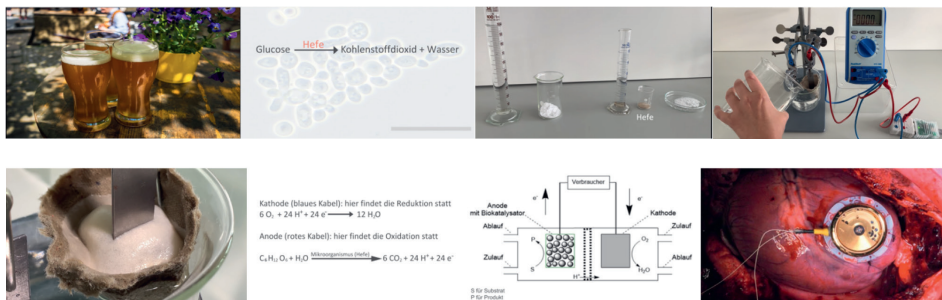


Abbildung 3: Screenshots aus einem selbst erstellten Video (Produzentin: M. Lehmschlöter, BUW, WS19/20)

Vor dem Hintergrund des Zeitaufwandes, den die Studierenden für die Produktion aufwenden müssen, stellt sich die berechtigte Frage nach dem Nutzen dieses Vorgehens. Aus dem Feedback der Studierenden konnten wir ableiten, dass diese einen Kompetenzzuwachs erleben hinsichtlich

- der Erschließung und der vertieften Auseinandersetzung (vor dem Hintergrund des zu erstellenden Produkts) mit neuen Fachinhalten

- des Aufbaus von Demonstrationsexperimenten z. B. unter Berücksichtigung der Gestaltgesetze (Bader & Lühken, 2018)
- der Verwendung von Fachsprache (u. a. Berücksichtigung von Stoffebene und Teilchenebene)
- der Verknüpfung von Kontexten und Fachinhalten
- der didaktischen Planung einer Unterrichtseinheit und der Gestaltung von Lehr-/Lernmedien
- der begründeten Anknüpfung der Einheit an Pflichtinhalte des Chemieunterrichts, auch mit Bezug auf den Medienkompetenzrahmen

Als Ertrag des Seminars lässt sich somit eine Steigerung des technischen, chemie-didaktischen und mediendidaktischen Wissens sowie auf einer affektiven Ebene ein höheres Selbstwirksamkeitserleben hinsichtlich des Umgangs mit digitalen Medien in Lehr-/Lernsettings beschreiben. In den Reflexionseinheiten am Ende der Seminare gaben die Studierenden jeweils an, dass mit der offenen Herangehensweise in Kleingruppen eine erste Hürde bei der Erstellung digitaler Lernangebote genommen und die Hemmschwelle für zukünftige eigenständige Produktionen gesenkt wurde. Dies ist vor dem Hintergrund, dass Lehrkräfte häufig in ihrem Unterricht nutzen, was sie selbst in Lernsituationen erfahren und angewendet haben, ein wichtiges Ziel.

4. Fazit

Die Förderung der medienbezogenen Kompetenzen bei Lernenden und Lehrenden ist eine wichtige, kontinuierlich anfallende Aufgabe, die dem steten Wandel der sich zunehmend digitalisierenden Welt geschuldet ist, was neue Herausforderungen in Bezug auf schulisches, universitäres und lebenslanges Lernen mit sich bringt. In Kenntnis des aktuellen Nutzungsverhaltens von Lernenden lassen sich Videos in Bildungskontexten als Medien einsetzen, mit denen man Lernende in ihren Gewohnheiten abholen und zu einem medienkritischen Umgang mit Videoangeboten verschiedener Plattformen anregen kann. Durch die eigene Planung und Produktion gewinnen Studierende, analog zu Schülerinnen und Schülern bei entsprechenden Unterrichtsprojekten, Einblicke in die Möglichkeiten der videografischen Darstellung von Sachverhalten und auch deren Manipulation, z. B. durch geschickte Schnitte des Filmmaterials. Sie können in Folge Angebote kritischer bewerten und erfahren darauf bezogen eine Förderung ihrer Kompetenzen im Sinne von TPACK.

Für die chemiedidaktische Lehre wurde ein dreischrittiges, im Studium aufeinander aufbauendes Vorgehen nach der Leitlinie „Von der Rezeption zur Produktion“ beschrieben, wobei einerseits das Lernen von Sachinhalten anhand von Versuchsvideos, die kritische Diskussion und Bewertung frei verfügbarer Ver-

suchsvideos u. a. hinsichtlich eines didaktischen Einsatzes und letztlich die Konzeption und Produktion eigener Videos zu innovativen Versuchen und neuen Sachverhalten adressiert werden. Die intensive Auseinandersetzung mit Lehr-/Lernvideos in didaktischen Lehrveranstaltungen erfolgte einerseits aufgrund der verschiedenen bildungspolitischen Vorgaben, sie wurde aber auch durch die Corona-Pandemie katalysiert, womit sich zeigt, dass neue Situationen auch immer neue Chancen mit sich bringen.

Literatur

- Bader, H.J. & Lühken, A. (2018). Demonstrationsexperimente. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 471–475). Aulis Verlag im Friedrich Verlag.
- Didaktik der Chemie Bergische Universität Wuppertal (Hrsg.) (2021). *Videos zu klassischen Schulversuchen*. <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/index.php?id=5126&L=0>.
- European Commission's Joint Research Centre (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. <https://doi.org/10.2760/159770>, <http://europa.eu/!gt63ch>.
- KMK (Hrsg.) (2016). *Bildung in der digitalen Welt*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf.
- Koehler, M.J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19.
- Medienberatung NRW (Hrsg.) (2020a). *Medienkompetenzrahmen NRW*. https://medienkompetenzrahmen.nrw/fileadmin/pdf/LVR_ZMB_MKR_Broschuere.pdf.
- Medienberatung NRW (Hrsg.) (2020b). *Lehrkräfte in der digitalisierten Welt – Orientierungsrahmen für die Lehrerbildung und Lehrerfortbildung in NRW*. https://www.medienberatung.schulministerium.nrw.de/_Medienberatung-NRW/Publikationen/Lehrkraefte_Digitalisierte_Welt_2020.pdf.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2020). *Jugend, Information, Medien*. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2020/JIM-Studie-2020_Web_final.pdf.
- Rat für Kulturelle Bildung (2019). *Jugend / YouTube / Kulturelle Bildung. Horizont 2019*. <https://www.flipsnack.com/RatKulturelleBildung/jugend-YouTube-kulturelle-bildung-2019/full-view.html>.
- Tondeur, J., Scherer, R., Baran, E., Siddiq, F., Valtonen, T. & Sointu, E. (2019). Teacher educators as gatekeepers: Preparing the next generation of teachers for technology integration in education. *British Journal of Educational Technology*, 50(3), 1189–1209.
- van Ackeren, I., Aufenanger, S., Eickelmann, B., Friedrich, F., Kammerl, R., Knopf, J., Mayrberger, K., Scheika, H., Scheiter, K. & Schiefner-Rohs, M. (2019). Digitalisierung in der Lehrerbildung. Herausforderungen, Entwicklungsfelder und Förderung von Gesamtkonzepten. *Die Deutsche Schule*, 111(1), 103–119.

Digitales Lehr-Lern-Labor „makeScience!“ der PHKA

Entwicklung hin zu einem digitalen Lehr-Lern-Labor

Seit 2016 besteht das Verbundprojekt MINT²KA an den beiden Karlsruher Hochschulen, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe (PHKA) (MINT²KA, 2016). Dadurch stärkt und vernetzt sich die Lehrer*innenbildung im Bereich der MINT-Fächer durch Synergieeffekte. Weiterentwicklungen und Ausbau der Schülerlabore sowie der Lehr-Lern-Labore (LLL) in den Fächern Chemie, Biomechanik (Sport), Mathematik und Physik bilden dabei den Kern.

Das Setting LLL geht dabei von zwei Zielgruppen, den Studierenden und den Schüler*innen, aus. Mehrere bekannte Settings, wie beispielsweise das Schülerlabor, das micro-teaching oder die Supervision sind im LLL zu Teilen miteinander vereint (Weusmann, Käpnick & Brüning, 2020). Den Studierenden liefert das LLL einen Theorie-Praxis-Bezug (z.B. Rehfeldt et al., 2018). Dabei wiederholen sich das Planen, Durchführen, Reflektieren und Adaptieren einer Lerneinheit zyklisch (z.B. Rehfeldt et al., 2018). Die LLL kommen somit den Aufforderungen der Ausbildungslehrkräfte zu einer stärkeren und bedarfsorientierteren Ausrichtung und Anpassung an die Arbeitsweisen in der Schule sowie dem Wunsch der Studierenden nach einer größeren Praxisorientierung nach (z.B. Dohrmann, 2019; Rehfeldt et al., 2018). Davon profitieren die Studierenden ebenso wie die Schüler*innen. Denn die Studierenden lehren und lernen, indem sie mit den Schüler*innen arbeiten, wobei diese anhand der Lehre der Studierenden lernen.

Im Rahmen des Verbundprojekts erfährt das Schülerlabor „makeScience!“ aus dem Fachbereich Chemie an der PHKA eine Entwicklung zu einem LLL. Die erste Umsetzung des Seminars startete im Sommersemester 2017. Eine empirische Begleitung und ein stetiger Ausbau prägen das LLL, wodurch es seit dem Wintersemester 2019/20 auch an den Pädagogischen Hochschulen in Heidelberg und Schwäbisch Gmünd seine Umsetzung findet. Seit März 2020 ist das Konzept mit dem LeLa-Preis (2. Platz) in der Kategorie „MINT-Bildung von Lehrkräften“ ausgezeichnet. Angepasst an die moderne Gesellschaft spielen auch digitale Medien bei der Umsetzung des LLL in Präsenz eine wichtige Rolle. Denn die Aufgabe einer Lehrkraft besteht auch darin, junge Menschen zur mündigen Teilhabe an der (digitalen) Gesellschaft zu erziehen, beziehungsweise die erforderlichen Voraussetzungen dafür zu schaffen (Kultusministerkonferenz, 2016). Um dies bewerkstelligen zu können, muss die Lehrkraft über spezifische Kompetenzen, die im TPACK-Modell näher erläutert sind, verfügen (Koehler, Mishra & Cain, 2013). Die im LLL von den Studierenden erarbeiteten Kompetenzen dienen dazu, Ängste vor der

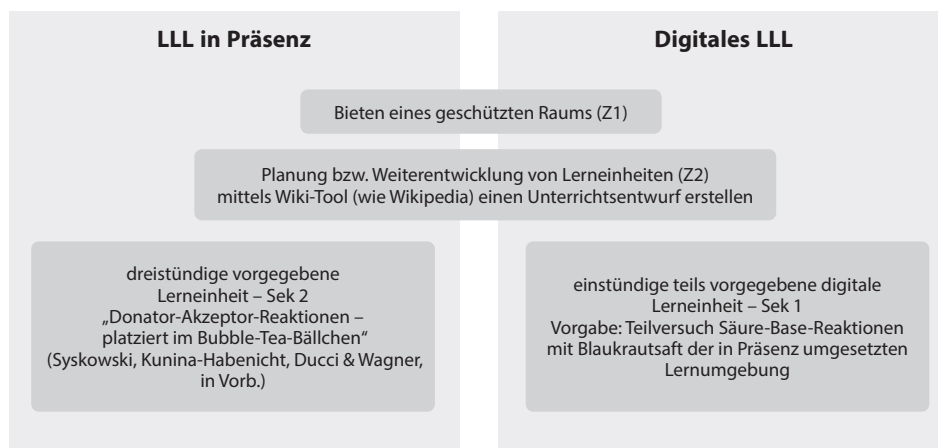
Digitalisierung abzubauen und Wissen über dessen Perspektiven für den Chemieunterricht zu erlangen (Gillmann, 2019; Huwer, Banerji & Thyssen, 2020).

Nach dem 17.03.2020 ist die Bedeutung digitaler Medien aufgrund des Lock-downs in Folge der Corona-Pandemie stark in den Fokus gerückt (z. B. Cucinotta & Vanelli, 2020). Innerhalb kürzester Zeit überführen die Lehrenden die gesamte Lehre an den Hochschulen und den Schulen in den Online-Unterricht (OECD, 2020). Dadurch häufen und verstärken sich Fragen und Unsicherheiten in Bezug auf Online-Lehre vermehrt (Gillmann, 2019). Die Umsetzung des LLL-Konzeptes in Präsenz ist dadurch auch nicht mehr möglich. Die Frage, welche Auswirkungen eine Transformation von einem LLL in Präsenz zu einem digitalen LLL hat, begleitet daher dessen Entwicklung und später die Umsetzung. Ausgehend von den Zielen des LLL-Konzepts ist die Entwicklung des digitalen LLL im Sommersemester 2020 mit 18 Studierenden an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und Karlsruhe zur Erprobung bereit.

Ziele und Ausprägungen – Präsenz zu digital

Die Tabelle 1 stellt die Ziele und damit verbundenen Ausprägungen (Z1-Z7) der LLL-Settings dar. Im Vergleich sind so die Gemeinsamkeiten, aber auch die nötigen Transformationen vom LLL in Präsenz zu einem digitalen LLL sichtbar. Eine detaillierte Beschreibung des LLL in Präsenz findet sich als OER-Material auf der LernortLabor-Homepage (Syskowski, Kunina-Habenicht, Ducci & Wagner, 2021).

Tabelle 1: Ziele und Ausprägungen des LLL in Präsenz und des digitalen LLL im Vergleich



LLL in Präsenz

Erprobung in unterrichtsnahen Situationen



Abbildung 1. Schüler experimentieren im LLL in Präsenz.

Digitales LLL

Erprobung in der Online-Lehre (Z3)

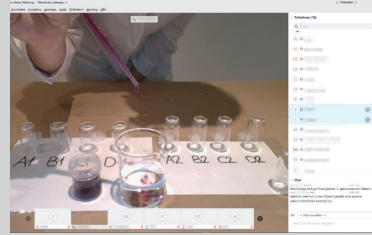


Abbildung 2. Studentin führt Demonstrationsversuch im digitalen LLL durch.

Erleben von sechs Praxiseinheiten mit Schüler*innen

Beobachtung von Lerneinheiten (Z4)

Reflexion der Lerneinheit und des eigenen Handelns
mit Schüler*innen in einem e-Lerntagebuch (Z5)
Mithilfe der Reflexion: gelernte Fachinhalte vertiefen
und fachdidaktisch beleuchten

Reflexion gestützt durch:
Schülerfeedback
Feedback der Kommilitonen
Feedback der Seminarleitung
Feedback der begleitenden Lehrkraft

Reflexion gestützt durch:
Schülerfeedback
Feedback der Kommilitonen
Feedback der Seminarleitung

Erleben einer Feedbackkultur, die aus verschiedenen Blickwinkeln besteht

Einstellung zur Gruppenarbeit herausarbeiten (Z6)
theoretische Grundlagen schaffen
eigene praktische Erfahrungen von Gruppenarbeit reflektieren

eigene Erfahrungen:
das Teamteaching (3er-Gruppen)
das digital initiierte Wiki
die Beobachtungen von Schüler*innen
(2er- bis 3er-Gruppen)

eigene Erfahrungen:
das Teamteaching (2er-Gruppen)
das digital initiierte Wiki
die Beobachtungen von Schüler*innen
(ganze Klasse)

Auseinandersetzung mit den Sicherheitsregeln
für das Arbeiten im Labor (Z7)
Erstellen von Gefährdungsbeurteilungen

Anwendung bei der Laborarbeit mit
Schüler*innen

Erarbeitung eines Konzepts für das sichere
Experimentieren zu Hause

Ablauf digitales LLL

Der folgende Abschnitt beschreibt die Ziele des digitalen LLL und dessen Ausprägungen (Z1 – Z7) im semesterbegleitenden Ablauf (14 Termine). Die ersten sieben Termine dienen den Studierenden zur Vorbereitung für die Online-Lerneinheiten mit Schüler*innen. Daher führt die Seminarleitung mit den Studierenden eine Beobachtungsschulung durch und übt den konstruktiven Umgang mit Feedback im Gespräch und schriftlich im Wiki-Tool, wie wikipedia (Z4, Z5). Erste Erfahrungen zur Gruppenarbeit und Reflexion halten die Studierenden im e-Lerntagebuch fest (Z5, Z6). Zudem setzen sich die Studierenden mit den Sicherheitsaspekten vor allem für das Experimentieren zu Hause auseinander und erstellen Gefährdungsbeurteilungen für die in der Lernumgebung vorgegebenen Versuche (Z7). Anschließend führen sie, angeleitet durch die Seminarleitung, die für die Präsenz entwickelte Lerneinheit „Donator-Akzeptor-Reaktionen – platziert im Bubble-Tea-Bällchen“ online durch. Den ersten Teil mit Redox-Reaktionen ausgehend von einer Kaliumpermanganatlösung, die in Bubble-Tea-Bällchen platziert wird, erarbeiten sich die Studierenden anhand von Ergebnisbildern und Erklärungen der Seminarleitung. Mit den erhaltenen Materialien aus einer Experimentierkiste führen die Studierenden den zweiten Versuch, der Säure-Base-Reaktionen sichtbar macht, zu Hause selbstständig durch. Dieses Experimentieren wird von der Seminarleitung verfolgt und unterstützt. Dabei stellen die Studierenden Bubble-Tea-Bällchen her, in denen Blaukrautsaft platziert ist. Diese werden anschließend in verschiedene Medien (Seifenwasser, Zitronensaft usw.) überführt. Auf diesen Versuch aufbauend erstellen die Studierenden-Tandems Unterrichtsentwürfe für eine einstündige Online-Lerneinheit mit Schüler*innen der Sekundarstufe 1 (Z2). Hierfür haben sie zwei Seminartermine Zeit, bevor sie ihre Entwürfe den anderen Seminarteilnehmenden vorstellen. Diese Sitzung bietet den Studierenden den Raum, ihre Umsetzung und die Feedbackkultur zu üben (Z1, Z5). In der nächsten Sitzung setzt das erste Tandem seinen digitalen Unterrichtsentwurf um (Z3). Dabei haben die Studierenden die Aufgabe, die Schüler*innen zu begrüßen, ins Thema einzuführen und Hypothesen zu bilden. Anschließend führen sie den Versuch online live vor oder zeigen ein Video. Dessen Beobachtung führt zur Auswertung und abschließenden Feedbackrunde. Die anderen Studierenden bilden zusammen mit der Seminarleitung die Beobachter*innen dieser Lerneinheit und bieten durch ihre Anwesenheit eine Unterstützung (Z1, Z4). Im Anschluss an jede Lerneinheit findet eine Feedbackrunde mit allen Seminarteilnehmenden statt, die zusätzlich zum Schüler*innenfeedback die Grundlage für die Reflexion im e-Lerntagebuch bildet (Z5). Die Studierenden rotieren in den Rollen „Lehrende*r“ und „Beobachter*in“, sodass jedes Tandem am Ende des Seminars mindestens zweimal seine Einheit durchgeführt hat. Bei den weiteren Terminen beobachten sie andere Teams bei deren Umsetzungen. Den Abschluss des digitalen Seminars bildet eine Reflexionsrunde.

Empirische Studie

Zur weiteren Beantwortung der Frage, welche Auswirkungen eine Transformation von einem LLL in Präsenz zu einem digitalen LLL haben kann, erfolgte eine Befragung der Studierenden bezüglich des Seminars.

Studiendesign und Instrumente

Es handelte sich um eine längsschnittliche Studie bezüglich der Studierenden im LLL-Seminar. Zu Beginn fand ein Prätest statt, dem 14 Wochen später am Ende des Seminars ein Posttest folgte. Im Prätest erfasste die Skala „Motivation für die Teilnahme am Seminar“ die Entscheidung der Studierenden für das Seminar ohne Corona-Bedingungen (Reinders, Hillesheim & Sebal, 2015). Zusätzliche offene Fragen haben die Erwartungen der Studierenden bezüglich des Seminars während der Covid-19-Pandemie festgehalten. Demographische Daten nahm der Prätest auch auf. Der Posttest beinhaltete offene Fragen zum Arbeiten mit den Schüler*innen sowie der Selbsteinschätzung des Gelernten.

Die Auswertung der geschlossenen Fragen erfolgte mit R (R Core Team, 2016). Die induktive Kategorisierung der offenen Fragen fand mittels der qualitativen Inhaltsanalyse und MAXQDA statt (Kuckartz, 2018; MAXQDA Team, 2018).

Stichprobe

18 Studierende (7 Männer, 9 Frauen, 2 o. A.) aus den Pädagogischen Hochschulen Karlsruhe ($n = 7$) und Heidelberg ($n = 11$) nahmen an der Studie teil. Die Umsetzung fand im Sommersemester 2020 in zwei parallel laufenden Seminaren statt. Die Studierenden befanden sich im 2. bis 10. Semester und waren im Durchschnitt 23.8 Jahre alt ($SD = 2.0$). Davon studierten sieben Personen Gymnasiallehramt, zehn Lehramt für die Sekundarstufe 1 sowie eine Person Sonderpädagogik mit einem zusätzlichen Fach (Schulisches Lernen mit Schwerpunkt Chemie Sekundarstufe 1).

Ergebnisse und Diskussion

Motivation und Erwartungen der Studierenden (Prätest)

77.8 % der Studierenden (14 von 18) entschieden sich für das Seminar, da es eine Pflichtveranstaltung ist. Bezogen auf die Praxiserfahrung wählten es 66.7 % (12 von 18) und 72.2 % (13 von 18) brachten als Begründung für das Seminar die Verknüpfung von Theorie und Praxis an.

Die Studierenden erwarteten „viel Lernzuwachs“, „Einsichten und Erkenntnisse“, einen „guten Ablauf“ im Setting und „eine Vorbereitung für weitere Seminare“. Spezifische Nennungen beinhalteten das „Zeitmanagement beim Experimentieren mit Schüler*innen“ oder „Gruppenarbeit koordinieren lernen“ bzw.

„Gruppenarbeit selbst anwenden“. Zahlreiche Erwartungen spiegelten sich in zwei Aspekten wider, welche miteinander in Verbindung stehen: das „Experimentieren“ und das „Lernen für den späteren Beruf als Lehrkraft“. Dabei erwarteten die Studierenden, „Erfahrungen zur Arbeit mit Schüler*innen beim Experimentieren“ zu sammeln und sich „erproben“ zu können. Zugleich vermuteten sie bereits, dass dies voraussichtlich nur „theoretisch“ möglich sei. Das digitale Setting weckte auch Überlegungen bezüglich weiterer „Schwierigkeiten“, die durch die Corona-Einschränkungen auftreten könnten. Dazu zählten technische Probleme, aber auch der Rückgang an Austausch, die Materialbeschaffung und Überlegungen zur Umsetzung von Theorie-Praxis-Verknüpfung sowie Praxiserprobungen. Zugleich sahen sie auch die Chance, sich durch die Teilnahme am LLL einen Nutzen bezüglich der digitalen Lehre zu verschaffen.

Die Motivation und die Erwartungen spiegeln den in der Literatur festgehaltenen Wunsch nach mehr Praxis in der Arbeit mit Schüler*innen wider (Dohrmann, 2019); hier im Speziellen die digitale Praxiserprobung und das Experimentieren mit Schüler*innen. Weiter reflektieren die Studierenden die Verbindung von Theorie und Praxis wie andere Autor*innen als positiven Faktor für die Wahl dieser Veranstaltung (Rehfeldt et al., 2018). Die erwarteten Schwierigkeiten mit der Technik von Seiten der Studierenden, die durch die Transformation essenziell wurde, spiegeln dabei nur die allgemeine Sicht auf digitale Schule wider (OECD, 2020). Die Erwartungen der Studierenden aufgrund der Transformation in ein digitales LLL beinhalten Unsicherheiten, aber zugleich auch die Chance zu lernen. Die Hoffnung, trotz der neuen Umstände mit Schüler*innen zu arbeiten und so Praxiserfahrung mit Schüler*innen zu sammeln, zeigt nochmals die Wichtigkeit beider Zielgruppen in der Wahl, ein LLL zu besuchen.

Posttest der Studierenden

Die Studierenden beschrieben am Ende des Seminars eine Stärkung ihres Selbstbewusstseins, die Gelegenheit gehabt zu haben sich auszuprobieren und das Sammeln von neuen Erfahrungen, die sie für ihre Entwicklung gewinnbringend erlebten.

Wertvoll erachteten die Studierenden im Rahmen des Seminars das Erstellen eines ausführlichen Unterrichtsentwurfs und das Organisieren der Online-Lehre. Die praktische Erfahrung und die Interaktion mit Schüler*innen in Bezug auf die Online-Lehre nannten die Studierenden als Gewinn für sich. Dazu zählte das Erleben der Vielfalt an Umsetzungsmöglichkeiten und die damit einhergehenden besonderen Umstände der Online-Lehre sowie deren Durchführung mit kleinen und großen Schüler*innengruppen im Vergleich. Als weitere Punkte stellten sie die Erkenntnis der erfolgreichen Integration von Experimenten in der Online-Lehre, deren Livedurchführung und die Dankbarkeit sowie Aufgeschlossenheit der Schüler*innen diesen gegenüber dar. Das verwendete Experiment „Blaukrautsaft platziert in Bubble-Tea-Bällchen“ beschrieben sie selbst als Lerngegenstand. Zu-

gleich bedauerten sie, dass das Seminar coronabedingt leider nicht in Präsenz, sondern nur online stattfinden konnte. Zusätzlich spielte das Lehrformat eine Rolle, da die Studierenden das fehlende Experimentieren mit den Schüler*innen negativ bewerteten. Die Abhängigkeit von der Technik und dadurch auftretende Probleme sowie davon ausgelöste Hilflosigkeit von Seiten der Studierenden, auch in Bezug auf die Materialverteilung für Schüler*innen, zählten sie auch auf. Zugleich beschrieben sie die Aneignung von einem Handlungsrepertoire im Umgang mit Cisco Webex und mit technischen Problemen. Dazu zählte für sie auch die eigene Akzeptanz, an manchen Stellen nicht mehr helfen zu können.

Studierende reflektierten auch, eine deutliche Verbesserung ihrer Beobachtungsfähigkeit festgestellt zu haben. Beobachtungsformen nahmen sie als angeeignetes Wissen an. Als weitere Lernerfolge nannten sie das Wissen über „richtiges Feedback geben“ und die Erkenntnis, dass sie durch Feedback selbst lernen können. Bestätigungen und Verbesserungsvorschläge dienten für sie dabei als Lerngegenstand. Als Erfahrung merkten sie dabei an, dass die Schüler*innen gegenüber Feedback sehr aufgeschlossen waren. Darüber hinaus gaben sie an, nach dem Seminar zu wissen, wie sie eine Gefährdungsbeurteilung mit degintu erstellen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Rückmeldungen der Studierenden bezüglich der Arbeit mit den Schüler*innen größtenteils positiv ausfallen. Negative Aspekte sehen sie dabei meist als Lernchance an. Zusammen mit den Selbsteinschätzungen ihres Erlernten spiegeln sich mehrere Ziele des digitalen LLL wider. Dazu zählt die Erstellung eines Unterrichtsentwurfs (Z2), das Erleben und Erproben von Online-Lerneinheiten (Z3), die Beobachtungsfähigkeit (Z4), das Erleben einer Feedbackkultur (Z5), der Vergleich von Gruppengrößen (Z6) und die Auseinandersetzung mit den Sicherheitsregeln (Z7). Begründungen, warum der geschützte Raum (Z1), die Umsetzung des e-Lerntagebuchs (Z5) und die Gruppenarbeit mit den Mitkommiliton*innen (Z4) dabei keine Nennung finden, können nur vermutet werden. Beispielsweise können die Studierenden in diesen Bereichen wenig gelernt haben oder die Tatsache, dass der Faktor des Neuen bei diesen Methoden fehlt, hat einen Einfluss. Die Transformation der Ziele wird daher in Bezug auf die Rückmeldungen als gut umgesetzt angenommen.

Fazit

Das digitale LLL erfüllt zu großen Teilen die Erwartungen der Studierenden. Dabei wird der anfangs mit Schwierigkeiten besetzte Punkt „Technik“ in den Rückmeldungen als erlernbar beschrieben und das Interesse bezüglich des Arbeitens mit Schüler*innen bestätigt. In Bezug auf die Transformation von einem LLL in Präsenz zu einem digitalen LLL zeigt sich eine Wirkung auf die Zielstellung eines LLL. So mussten Ziele zum Teil komplett oder in ihrer Ausprägung transformiert

werden. Das digitale LLL ist daher nicht wie vermutet eine digitale Alternative, sondern vielmehr eine für sich stehende Umsetzungsmöglichkeit eines LLL. Mit Blick in die Zukunft wird diese Art zu unterrichten den Alltag von Lehrkräften weiter mitbestimmen. Diese Auswirkung sollte daher auch in der Lehrkräftebildung berücksichtigt werden, wobei die LLL-Forschung einen Umsetzungsbereich bieten kann. Weitere Untersuchungen könnten durch eine Rücktransformation des Ziels, dass Schüler*innen selbst experimentieren sollen, entstehen. Dies wäre durch eine Materialverteilung an Schüler*innen umsetzbar. Eine Vergleichsstudie zwischen den digitalen LLL mit oder ohne experimentierende Schüler*innen könnte so umgesetzt werden. Zugleich würde diese Studie die Grundlage für einen Vergleich mit den Befunden des Präsenzunterrichts von Demonstrationsexperiment und Schüler*innenexperiment im Chemieunterricht liefern. Digitale Lehre im Chemieunterricht ist eine Herausforderung, aber zugleich eine Chance, um Neues auszuprobieren!

Literatur

- Cucinotta, D. & Vanelli, M. (2020). Who Declares COVID-19 a Pandemic. *Acta Bio-Medica: Atenei Parmensis*, 91(1), 157–160.
- Dohrmann, R. (2019). *Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung: Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht) (Dissertation)*. Berlin.
- Gillmann, B. (2019). *Digitalisierung: Lehrer haben Angst oder kein Wissen*. Handelsblatt. <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/digitalisierung-an-schulen-lehrer-haben-grosse-not-mit-dem-digitalen-lernen/24090032.html?ticket=ST-11876599-emy-rJpF5EcsDLRUsd7UG-ap5>
- Herzig, B. & Martin, A. (2018). Lehrerbildung in der digitalen Welt. In S. Ladel, J. Knopf & A. Weinberger (Hrsg.), *Digitalisierung und Bildung* (S. 89–113). Springer VS.
- Huwer, J., Banerji, A. & Thyssen, C. (2020). Digitalisierung – Perspektiven für den Chemieunterricht. *Nachrichten Aus Der Chemie*, 68(10), 10–16.
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa.
- Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- MAXQDA Team (2018). MAXQDA, Software für qualitative Datenanalyse (Version MAXQDA18) [Computer software]. Berlin, Deutschland: VERBI Software. Consult. Sozialforschung GmbH.
- MINT²KA (2016). *MINT²KA – Leuchtturm der Lehrerbildung in Karlsruhe*. <http://www.mint2ka.de/>
- OECD (Hrsg.) (2020). *PISA FOR DEVELOPMENT: Out-of-school-assessment. Results in Focus. PISA in Focus*. https://www.oecd-ilibrary.org/education/were-schools-equipped-to-teach-and-were-students-ready-to-learn-remotely_4bcd7938-en;jsessionid=Tju7VoItKz3wm73KDoYtWEPJ.ip-10-240-5-174

- R Core Team (2016). *R: A language and environment for statistical computing* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.
- Rehfeldt, D., Seibert, D., Klempin, C., Lücke, M., Sambanis, M. & Nordmeier, V. (2018). Mythos Praxis um jeden Preis? Die Wurzeln und Modellierung des Lehr-Lern-Labors. *Die Hochschullehre*, 4.
- Reinders, H., Hillesheim, S. & Sebal, J. (2015). *Service Learning an Universitäten: Skalendokumentation des Längsschnitts 2012–2014*. Würzburg: Univ., Lehrstuhl Empirische Bildungsforschung.
- Syskowski, S., Kunina-Habenicht, O., Ducci, M. & Wagner, I. (2021). *Lehr-Lern-Labor „makeScience!“*. <https://www.lernortlabor.de/ueber-schuelerlabore/oer>
- Syskowski, S., Kunina-Habenicht, O., Ducci, M. & Wagner, I. (in Vorb.). Lehr-Lern-Labor „makeScience!“ und das Interesse von Schüler*innen: Untersuchungen zur Lernumgebung „Donator-Akzeptor-Reaktionen – platziert in Bubble Tea-Bällchen“. *CHEMKON*.
- Weusmann, B., Käpnick, F. & Brüning, A.-K. (2020). Lehr-Lern-Labore in der Praxis: Die Vielfalt realisierter Konzeptionen und ihre Chance für die Lehramtsausbildung. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore: Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung* (S. 27–45). Springer Berlin Heidelberg.

Diagnose von Experimentierverhalten im Labor zur Erstellung zielgruppenorientierter digitaler Experimentierumgebungen

1. Einleitung und Problemstellung

Die COVID-19-Pandemie stellt für die praxisorientierte Lehre in den Naturwissenschaften eine große Herausforderung dar. Zumeist wurden die Labore zum Start des Sommersemesters 2020 nicht geöffnet oder es durften sich nur kleine Gruppen in kurzen Zeiträumen im Labor aufhalten. An ein normales Durchführen des Laborpraktikums war nicht zu denken. Viele Lösungsansätze von Lehrenden beinhalteten ein Auslagern der Lehre in Online-Formate (Andrews et al., 2020; Babinčáková & Bernard, 2020; Rupnow, LaDue, James & Bergan-Roller, 2020). Auch wurden hybride Formate eingesetzt, bei denen die Laborzeit verkürzt wurde und nur in Kleingruppen stattfand, während ein großer Teil der Experimente im digitalen Raum stattgefunden hat. Alle diese Varianten hatten das gemeinsame Ziel, die Kontaktzeit der Studierenden untereinander zu minimieren. Doch gerade die Zeit im Labor ist für Studierende der Chemie wichtig (Bretz, 2019; Stieff, Werner, Fink & Meador, 2018). Sie erlernen hier wichtige laborpraktische Techniken und Handgriffe und wenden diese auf bekannte Sachverhalte an. Das Ziel des Laborpraktikums ist nicht nur, dass die Studierenden bekannte chemische Experimente durchführen sowie die Beobachtungen tätigen und Protokolle erstellen, sondern eben auch, dass die korrekte Durchführung und das experimentell praktische Verständnis geschult werden.

Das experimentell-praktische Verständnis umfasst dabei wesentliche Aspekte der experimentellen Arbeit (Gut-Glanzmann, 2012; Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009; Theyßen, Schecker, Neumann, Eickhorst & Dickmann, 2016), wie die Fähigkeit, experimentelle Anleitungen in Handlungen zu übersetzen, das korrekte Durchführen von Experimentierschritten, die fehlerfreie Verwendung von Geräten und die Reproduzierbarkeit von Experimenten. Diese Kompetenzen, die von den Studierenden im Praktikumslabor erlangt werden sollen, sind u.a. für Abschlussarbeiten (bspw. Examens-, Bachelor- oder Masterarbeiten) wichtig, um ein sicheres und nachvollziehbares wissenschaftliches Arbeiten zu ermöglichen (Gut-Glanzmann, 2012). Durch die Pandemie hat die digitale Lehre in Schule und Hochschule die nötigen Impulse erhalten und auch die digitale Umsetzung von Laborpraktika mitbeeinflusst. Eine Frage, die unter diesen Gesichtspunkten von Lehrenden an den Hochschulen gestellt wird, ist die Frage danach, wie digitale Lehre das experimentell-praktische Verständnis der Lernenden fördern kann.

Auf der einen Seite kommen als Ersatz für ein Präsenzpraktikum Videoexperimente zum Einsatz. Diese werden dann im *Learning-Management-System* (LMS) der Hochschulen *on demand* angeboten, sodass die Lernenden selbstständig entscheiden können, wann und wo sie dieses Lernangebot wahrnehmen möchten (Fraß, Weyers & Heinke, 2014). Die beiden großen Vorteile von Videoexperimenten sind die große Realitätsnähe in Form der Nähe zum eigentlichen Labor und zu den möglichen experimentellen Beobachtungen und die Möglichkeit, hierüber auch die Korrektheit der experimentell-praktischen Handlungen beobachten zu können. In keinem anderen Medium kann die Realitätsnähe so hoch sein wie dort, wo Realvideosequenzen eingesetzt werden (Kürschner & Schnotz, 2007; Schnotz & Horz, 2011) und wenn Gestaltungsregeln beachtet werden, ist sichergestellt, dass sowohl die Handlungen korrekt sind wie auch die Beobachtungen vollständig und deutlich dargestellt werden können (Dorgerloh & Wolf, 2020).

Auf der anderen Seite können Simulationen eingesetzt werden, die es den Lernenden ermöglichen, das Experiment selbstständig durchzuführen (Moore, Chamberlain, Parson & Perkins, 2014; Perkins et al., 2006). Der große Vorteil hierbei ist die Möglichkeit, eigenständig über den Fortgang des Experimentes entscheiden zu können. So werden der/dem Lernenden direkt die Auswirkungen seiner/ihrer Entscheidung bewusst und dargestellt. Die Darstellung hingegen erfolgt zumeist in einer animierten Darstellung oder wird direkt begleitet durch die Darstellung der Teilchenebene (Moore et al., 2014).

2. Erste Schritte zur Entwicklung interaktiver Videoexperimente

Um die Vorteile von interaktiven Simulationen und die Vorteile von Videoexperimenten, wie die Realitätsnähe, kombinieren zu können, entwickeln wir am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen aktuell interaktive Videoexperimente. Dabei nutzen wir Realvideosequenzen, die durch interaktive Momente, wie z. B. Entscheidungsprozesse, miteinander verknüpft sind, sodass Studierende selbstständig den Fortgang des Experimentes beeinflussen können und eine Rückmeldung über ihre Entscheidungen in einer möglichst hohen Realitätsnähe dargestellt bekommen. Im Folgenden sollen die drei zentralen Schritte bei der Erstellung der Interaktiven Videoexperimente vorgestellt werden:

Erstellung eines Prototypen und Testung der Usability

Um die digitale Lernumgebung allen Studierenden zur Verfügung zu stellen, haben wir uns das Ziel gesetzt, dass eine webbasierte Lernumgebung entsteht. Diese kann von dann auf den unterschiedlichen Betriebssystemen im Browser geöffnet und durchlaufen werden. Im Vorfeld wurde anhand eines einfacheren Experimentes, wie dem Auflösen von Marmor in Salzsäure, ein Prototyp eines interaktiven Experimentes entwickelt. Beim Durchlaufen dieser experimentellen Lern-

umgebung sind die Lernenden – je nach individuellem Lernweg – mit bis zu 15 Entscheidungssituationen konfrontiert. An jeder dieser Entscheidungspunkte bekommen die Lernenden die Möglichkeit, über den nächsten Handlungsschritt zu entscheiden. Da sich die Nutzung von „pädagogischen Begleitern“ in digitalen Lernumgebungen positiv auf das Lernen auswirkt (Castro-Alonso, Wong, Adesope & Paas, 2021), werden die Lernenden durch einen virtuellen Tutor in der Lernumgebung begleitet. Ist der Handlungsschritt nicht korrekt für den Fortgang des Experimentes, so werden sie auf ihren Fehler hingewiesen und können den Schritt wiederholen und eine andere Entscheidung treffen. Ebenso können die Studierenden beim Durchlaufen der Lernumgebung jederzeit auf den virtuellen Tutor zurückgreifen, wenn sie Hilfe bei der Entscheidung für den nächsten Schritt benötigen.

Für den Prototypen wurde weiterhin ein *User-Interface* (vgl. Abb. 1) erstellt, welches aus drei wichtigen Bausteinen besteht; zum einen aus der größeren Videofläche, auf der Bilder bzw. Realvideosequenzen gezeigt werden. Hier hat der Lernende die Möglichkeit zur Auswahl von Chemikalien und Gerätschaften zur Interaktion an den Entscheidungspunkten. Im Hilfebereich können die Lernenden bei Bedarf auf Hilfen zurückgreifen und zum anderen besteht hier die Möglichkeit, zu jedem Zeitpunkt auf die Versuchsanleitung digital zuzugreifen. Die Fortschrittsanzeige dient der Orientierung, wo sich der Lernende aktuell im zeitlichen Verlauf des Experimentes befindet.



Abbildung 1: User-Interface der Interaktiven Videoexperimente; links: Screenshot, rechts: Titel der einzelnen Bausteine.

Um die interaktiven Videoexperimente auf ihre Benutzerfreundlichkeit hin zu untersuchen und zu erheben, ob die Studierenden überhaupt damit arbeiten können, wurde nach der Entwicklung des Prototypen, im Rahmen einer Staatsexamensarbeit, eine Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit durchgeführt (Roggenkamp, 2018). In dieser wurden Studierende (N = 6) der Zielgruppe (Nebenfachpraktikum Chemie) in einem Laut-Denken-Setting gebeten, den Prototypen des interaktiven Videoexperiments zu durchlaufen. Dabei wurde ein Screen- cast aufgenommen und die Äußerungen der Studierenden aufgezeichnet und in-

haltsanalytisch kategorisiert. Die Benutzerfreundlichkeit ist dabei so definiert, dass die Studierenden ohne Schwierigkeiten in die Lernumgebung einsteigen konnten und der Umgang mit dieser problemlos abläuft. Ziel der Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit war es festzustellen, ob die Studierenden technische Hürden oder Missverständnisse beim Durchlaufen der Lernumgebung erleben und sich daher nicht auf den Inhalt des Experimentes konzentrieren können. Die Ergebnisse der Untersuchung des Prototypen zeigen, dass das interaktive Videoexperiment eine hohe Benutzerfreundlichkeit aufweist und lediglich kleine Änderungen im Bereich der Aufgabenstellungen nötig waren, um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen. Im Rahmen dieser Erhebung tauchte die Frage danach auf, wie sich ein deutlich zielgruppenorientiertes interaktives Videoexperiment gestalten lassen kann. Nicht alle antizipierten Entscheidungen sind tatsächlich für die Lernenden nötige Interaktionspunkte in einer digitalen Lernumgebung. Wenn es gelingt, nur die Interaktionen und Entscheidungen umzusetzen, die die Studierenden auch beim realen Experimentieren durchlaufen, könnte das Durchlaufen der Lernumgebung gezielter gestaltet werden und damit unter Umständen lernförderlicher sein.

3. Entwicklung zielgruppenorientierter interaktiver Videoexperimente

Für die Entwicklung zielgruppenorientierter interaktiver Videoexperimente haben wir uns dem Nebenfachpraktikum Chemie gewidmet. Dieses Praktikum durchlaufen jährlich über 1200 Studierende aus unterschiedlichen Fachrichtungen, wie u. a. der Medizin, Ökotrophologie, Biologie, Veterinärmedizin. Regelmäßig kommt es dazu, dass Studierende aus gesundheitlichen Gründen nicht am Laborbetrieb teilnehmen können, beispielsweise weil sie an chronischen Krankheiten leiden. Andere Gründe sind beispielsweise eine vorliegende Schwangerschaft, die den Praktikumsbesuch nicht möglich macht. Darüber hinaus sind das Vorwissen und die experimentell-praktische Vorerfahrungen der Studierenden in diesem Praktikum besonders heterogen. Um dieses Praktikum aber dennoch für diese heterogene Gruppe von Studierenden offenzuhalten und ihnen die Teilhabe am Praktikum zu ermöglichen, ist für diese Zielgruppe eine zielgruppenorientierte Lernumgebung besonders hilfreich. Zudem profitieren die Studierenden von einem möglichst realitätsnahen und interaktiven Laborersatz.

Analyse der Zielgruppe im Reallabor

Der erste Schritt für die Entwicklung einer zielgruppenorientierten Lernumgebung ist die Analyse der tatsächlich ablaufenden Handgriffe und Entscheidungen der Studierenden im Reallabor. Dazu wurden im Reallabor Kleingruppen ($N = 16$) der Teilnehmenden des Nebenfachpraktikums bei einer permanganometrischen Titration gefilmt. Die Titration als experimentell-praktische Technik erfolgt immer in einer ähnlichen Abfolge und ist damit gut geeignet, es als interaktives Videoexperiment umzusetzen. Die Aufnahmen der Kleingruppen wurden anschlie-

ßend inhaltsanalytisch untersucht und zum einen nach der Schrittabfolge einer Titration und zum anderen nach der Produktivität oder Unproduktivität im experimentellen Verlauf ausgewertet. Die durchgeführten Handlungen und Entscheidungen wurden für die einzelnen Gruppen in Handlungsbäume überführt. Diese Handlungsbäume fassen alle durchgeführten Handlungen der Studierenden zusammen und dienen als Drehbuch für die Erstellung des interaktiven Videoexperimentes. Dabei sind die einzelnen Handlungen im ersten Schritt nur qualitativ dargestellt und werden noch nicht bewertet. Ein Handlungsbaum für den Schritt der Erstellung der Blindprobe beim Experiment „Permanganometrische Titration von Eisen-(II)-Ionen“ ist in Abbildung 2 dargestellt.

Im nächsten Schritt wurden neben den Handlungsbäumen auch Problemstellen und andere Schwierigkeiten der Studierenden bei der Durchführung kategorisiert. Beispielsweise sind besonders die Stellen herausgearbeitet worden, an denen die Studierenden bei der Durchführung im Reallabor Unterstützung vom Assistenten benötigen. Diese Stellen sind für die Implementierung als digitale Lernumgebung von besonderer Bedeutung. Die Studierenden können damit in der digitalen Durchführung die Hinweise erhalten, die sie auch für eine Durchführung im Reallabor benötigen würden.

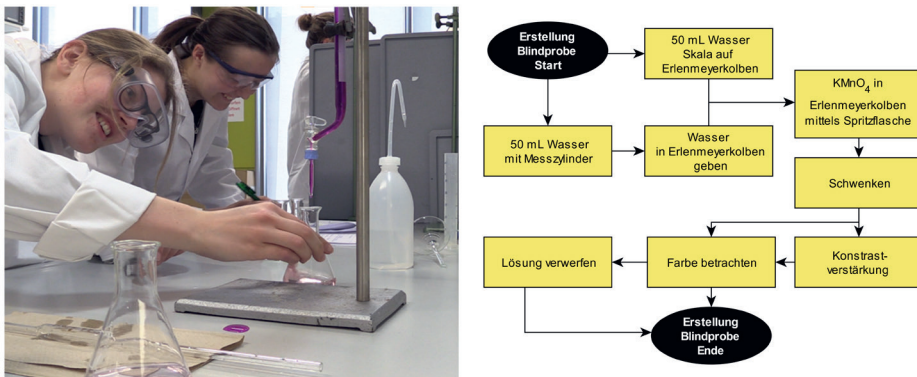


Abbildung 2: Studierende des Nebenfachs Chemie beim Durchführen einer Titration, linke Seite; Handlungsbaum zur Erstellung der Blindprobe für die permanganometrische Titration von Eisen-(II)-Ionen, rechte Seite.

Aus den zuvor gewonnenen Untersuchungsergebnissen wurde anschließend das interaktive Videoexperiment für die permanganometrische Titration implementiert. Dazu wurden die Realvideosequenzen, die die Entscheidungen der Studierenden abbilden sollten, als Kurzvideos in der Ich-Perspektive aufgezeichnet. Anschließend werden die Entscheidungspunkte passend zu den analysierten Handlungen der Studierenden erstellt, sodass es für die Studierenden möglich ist, selbstständig beim Durchlaufen der Lernumgebung Entscheidungen über den

nächsten experimentellen Schritt zu treffen und die entsprechende Realvideosequenz gezeigt zu bekommen. Bei der Implementierung wurden dann zusätzlich die benötigten Hilfestellungen und Hinweise während des realen Experimentierens zum einen als Hilfebutton und zum anderen durch die Funktion des virtuellen Tutors umgesetzt. So steht den Studierenden, die an schwierigen Stellen eine Hilfestellung benötigen, diese auch zur Verfügung. Studierende mit mehr Vorwissen, die innerhalb der Lernumgebung immer die richtigen Entscheidungen treffen, werden dadurch nicht unnötig aufgehalten.

Zu Beginn des Experimentes werden die Studierenden, wie im normalen Labor auch, aufgefordert, die benötigten Chemikalien und Gerätschaften auszuwählen (vgl. Abb. 3, linke Seite). Nur mit einer korrekten Auswahl kann das Experiment gestartet werden. Während der weiteren Durchführung des Experimentes werden den Studierenden immer Auswahloptionen für den weiteren Fortgang des Experimentes gestellt. So kann beispielsweise über die Füllhöhe der Kaliumpermanganat-Lösung in der Bürette entschieden werden (vgl. Abb. 3, rechte Seite). Diese trivial anmutende Entscheidung der Füllhöhe tauchte bei vielen Gruppen auf und sorgte für Diskussionen. Daher wurde diese Entscheidung auch mit in die Lernumgebung aufgenommen. Je nach Wahl der Option, wird den Studierenden direkt eine Rückmeldung dazu gegeben (vgl. Abb. 3, rechte Seite). Wie in Abbildung 3 zu sehen, besteht die Möglichkeit, dass sich die Studierenden noch anders entscheiden. Wenn sie sich für eine nicht zielführende Option entscheiden, können sie das Experiment nicht fortsetzen und müssen sich zunächst für eine andere Option entscheiden. Das Experiment kann zu jedem Zeitpunkt unterbrochen und erneut gestartet werden. Ein generelles Zurückspringen zum vorherigen Schritt ist – ähnlich dem Reallabor – nicht möglich.



Abbildung 3: Screenshot zu Beginn des interaktiven Videoexperiments zur permanganometrischen Titration, linke Seite; Auswahl der Füllhöhe an Kaliumpermanganat-Lösung in der Bürette, rechte Seite.

4. Fazit und Ausblick

Durch die vorab erfolgte Diagnose der Handlungen und Entscheidungen der Studierenden im Reallabor konnte für die Labortechnik Titration eine zielgruppenorientierte digitale Experimentierumgebung geschaffen werden (Groos et al., 2021). Die vorherige Analyse der Studierenden stellt sicher, dass die Handlungsentscheidungen, die digital implementiert werden, annähernd das abbilden, was auch im Reallabor erfolgt. Ob der Lerneffekt nun aufgrund der angenommenen Zielgruppenorientierung auch höher ist als bei einer ähnlichen Art der Simulation oder einem einfacheren interaktiven Videoexperiment, kann nicht abschließend gesagt werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen und experimentelle Vergleichsstudien nötig. Darüber hinaus ist der Aufwand der Diagnose und anschließenden Implementierung auch nicht immer zeitlich tragbar. In vielen Fällen lässt sich bereits auf die Literatur oder auf Beobachtungen im Reallabor zurückgreifen, um daraus die Entscheidungen der Studierenden zu antizipieren.

Mit interaktiven Videoexperimenten ist nicht nur eine studierendenzentrierte Durchführung eines digital umgesetzten Experimentes möglich, sondern bietet auch die Möglichkeit, Aspekte von Inklusion, wie die Multimodalität, mit zu berücksichtigen. Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit wurde ein interaktives Experimentvideo inklusiv gestaltet (Bill, 2020). Beim Durchlaufen der Lernumgebung ist es dem Lernenden möglich, sich jederzeit Texte zusätzlich vorlesen zu lassen oder zu den Videosequenzen eine Audiospur dazu wählen zu können, die das Gesehene in gesprochene Sprache übersetzt. Ebenso kann der gesprochene Text auch als Untertitel angezeigt werden. Diese Auswahl erfolgt durch ein Ampelsystem zu Beginn der Videosequenzen und kann für jede Videosequenz einzeln ausgewählt werden. Diese Auswahl der Audiospur ist nur eine Variante, wie sich interaktive Videoexperimente in Zukunft umsetzen lassen. Denkbar ist auch die Möglichkeit des Zoomens für sehbeeinträchtigte Lernende oder die Umsetzung von Farb- oder Temperaturänderungen mittels Tönen.

Im Rahmen von Fachdidaktik-Seminaren mit fortgeschrittenen Lehramtsstudierenden entstanden in den letzten Semestern zahlreiche weitere interaktive Videoexperimente. Diese stehen auf der Website des Institutes für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen (<http://www.uni-giessen.de/dc>) zur Verfügung.

Literatur

- Andrews, J. L., de Los Rios, J. P., Rayaluru, M., Lee, S., Mai, L., Schusser, A. & Mak, C. H. (2020). Experimenting with At-Home General Chemistry Laboratories During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Chemical Education*, 79(7), 1887–1894.
- Babinčáková, M. r. & Bernard, P. (2020). Online Experimentation during COVID-19 Secondary School Closures: Teaching Methods and Student Perceptions. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3295–3300.

- Bill, T. C. (2020). *Chloridfällung in Concert – Gestaltung von interaktiven Videoexperimente mit Modalitätswechseln*. (Staatsexamsarbeit). Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.
- Bretz, S. L. (2019). Evidence for the Importance of Laboratory Courses. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 193–195.
- Castro-Alonso, J. C., Wong, R. M., Adesope, O. O. & Paas, F. (2021). Effectiveness of Multimedia Pedagogical Agents Predicted by Diverse Theories: a Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*.
- Dorgerloh, S. & Wolf, K. D. (2020). *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos*. Beltz.
- Fraß, S., Weyers, C. & Heinke, H. (2014). *Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes*. Paper presented at the Frühjahrstagung Didaktik der Physik, Frankfurt.
- Groos, L., Maass, K. & Graulich, N. (2021). Mimicking Students' Behavior during a Titration Experiment – Designing a Student-Centered Experimental Environment. *Journal of Chemical Education*, ASAP Article.
- Gut-Glanzmann, C. (2012). *Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. Analyse eines large-scale Experimentiertests*. Basel.
- Kürschner, C. & Schnotz, W. (2007). Konstruktion mentaler Repräsentationen bei der Verarbeitung von Text und Bildern. *Unterrichtswissenschaft*, 35(1), 48–67.
- Moore, E. B., Chamberlain, J., Parson, R. & Perkins, K. K. (2014). PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91, 1191–1197.
- Perkins, K. K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C. & LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44, 18–23.
- Roggenkamp, S. L. (2018). *Qualitative Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit von interaktiven Videoexperimenten* (Staatsexamsarbeit). Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.
- Rupnow, R. L., LaDue, N. D., James, N. M. & Bergan-Roller, H. E. (2020). A Perturbed System: How Tenured Faculty Responded to the COVID-19 Shift to Remote Instruction. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2397–2407.
- Schnotz, W. & Horz, H. (2011). Online-Lernen mit Texten und Bildern. In P. Klimsa & L. J. Issing (Hrsg.), *Online-Lernen Handbuch für Wissenschaft und Praxis* (2. Auflage, S. 87–103). Oldenbourg.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 3(8), 92–101.
- Stieff, M., Werner, S. M., Fink, B. & Meador, D. (2018). Online Prelaboratory Videos Improve Student Performance in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 95(8), 1260–1266.
- Theyßen, H., Schecker, H., Neumann, K., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016). Messung experimenteller Kompetenz – ein computergestützter Experimentiertest. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(15), 26–48.

ARchitect – Personalisierte Augmented Reality Apps ohne Programmierkenntnisse

Einleitung

AR ist eine Technologie, die die Wahrnehmung der Realität um computergenerierte Objekte erweitert (Azuma et al., 2001). Dabei befindet sich die AR in einem Kontinuum zwischen realer und virtueller Umgebung (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino, 1994), indem sie sowohl materielle als auch virtuelle Objekte in einer realen Umgebung kombiniert, diese aneinander ausrichtet und in Echtzeit interaktiv ausgeführt wird (Azuma et al., 2001).

Das Einfügen von Information durch virtuelle Objekte wird nicht nur in mobilen Spielen wie z. B. Pokémon Go, sondern auch in industriellen Prozessen eingesetzt (Regenbrecht, Barattoff & Wilke, 2005). Seit einigen Jahren steigt das Interesse an AR-Systemen in Lehr-Lern-Kontexten, da sich die Anwendung in der Schule durch die erhöhte Mobilität und Verfügbarkeit der Geräte vereinfacht hat und zahlreiche Studien Potenziale von AR betont haben (Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf & Kinshuk, 2014).

Potenzial für den Unterricht

Viele Studien, in denen Lernumgebungen unter den Einsatz von AR-Technologie untersucht wurden, berichten von zahlreichen allgemein-pädagogischen Vorteilen. Im Literatur-Review von Akçayır & Akçayır (2017) wurden 68 Publikationen zu AR im Bildungsbereich analysiert, von denen fast die Hälfte eine verbesserte Lernleistung durch AR feststellen konnte. Weitere vielgenannte Vorteile waren eine gesteigerte Lernmotivation, ein erhöhtes Verständnis des Lerngegenstands sowie Spaß bei der Anwendung (z. B. Probst, Fetzer, Lukas & Huwer, 2021). Aufgrund der Neuheit dieser Technologie im Bildungsbereich könnten diese Effekte jedoch auch möglicherweise auf einen *novelty effect* zurückzuführen und somit nicht langfristig stabil sein. Bei einer Etablierung von AR könnten sich diese Vorteile folglich abschwächen oder zurückgehen (Akçayır & Akçayır, 2017).

Potenziale für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Zentral für den naturwissenschaftlichen Unterricht sind Anwendung, Diskussion und Erstellung von Modellen über beobachtbare Phänomene. AR kann durch das

Visualisieren von Modellen zu realen Beobachtungen eine Verbindung zwischen submikroskopischer Ebene bzw. dem Modell und der makroskopischen Ebene herstellen und somit das Lernen fördern (Huwer et al., 2018). Beispielsweise wurde AR schon zur Erarbeitung eines Labor-Führerscheins (Huwer & Seibert, 2018), zur Visualisierung des Bohr'schen Atommodells (Marquardt et al., 2020) oder zur Darstellung makromolekularer Strukturen (Sung et al., 2020) genutzt.

In vielen Beiträgen werden AR-Entwicklungsumgebungen genutzt, die nicht frei verfügbar oder persönlich veränderbar sind oder Programmierkenntnisse benötigen. Eine viel genutzt Umgebung für mobile Geräte war die App *HP Reveal*, welche im Februar 2020 eingestellt wurde. Alternativen wie *ZapWorks* oder *blip-pAR* bieten in ihren kostenlosen Versionen einen teilweise eingeschränkten Funktionsumfang. Für den vielfältigen Einsatz in Lernkontexten sind diese Apps folglich nicht uneingeschränkt personalisierbar. Mit ARchitect wird in diesem Beitrag eine Alternative vorgestellt, die ein einfaches Erstellen von Lernumgebungen mit eigenen Apps ermöglichen soll, aber dennoch hochgradig anpassbar ist.

ARchitect

ARchitect ist ein sich in der Entwicklung befindliches Programmpaket für die Entwicklungsumgebung Unity von dem Unternehmen Unity Technologies, mit der Spiele und 2D- sowie 3D-Grafik-Anwendungen auch mit wenig Vorerfahrung erstellt werden können (Unity Technologies, 2020a). Der Unity Editor, in dem das Programm entwickelt wird, kann auf macOS, Windows und einigen Linux-Distributionen ausgeführt werden und ist für den Bildungsbereich und Non-Profit-Organisationen kostenlos zugänglich.

Das Programmpaket ARchitect soll die Entwicklung einer AR-App innerhalb des Unity Editors vereinfachen, so dass die Zugangsschwelle zu der Erstellung einer eigenen App noch geringer wird. Ziel ist es, ein Paket bereitzustellen, in dem Funktionen optional anpassbar eingebunden werden können und eigenes Programmieren nicht notwendig, aber durch offene Schnittstellen möglich ist. ARchitect ist sowohl für die Entwicklung für iOS- als auch Android-Smartphones wie auch Tablets geeignet.

Technische Grundlagen

Zur Ausführung einer AR-App auf einem mobilen Gerät müssen die Bewegungen des Benutzers interpretiert werden, um die virtuellen Objekte korrekt darzustellen. Google und Apple entwickeln für ihre mobilen Betriebssysteme Schnittstellen, die die Interpretation der Umgebung durch Kamerabilder und Sensoren vornehmen. Apples Schnittstelle ARKit ist ab der Version 11.0 in das Betriebssystem iOS integ-

riert (Apple Inc., 2020), während Googles ARCore auf kompatiblen Geräten vorinstalliert oder über den App Store beziehbar ist (Google Inc., 2020).

Damit für iOS- und Android-Geräte nicht zwei separate Apps entwickelt werden müssen, stellt Unity Technologies die AR-Foundation-Schnittstelle bereit, die unter anderem diese beiden Schnittstellen zusammenführt (Unity Technologies, 2020b; s. Abb. 1). Alternativ könnten auch AR-Schnittstellen von Drittanbietern wie Vuforia genutzt werden (z.B. Eriksen, Nielsen, Bjarne & Pittelkow, 2020), diese sind in der Regel jedoch nicht frei und kostenlos zugänglich.

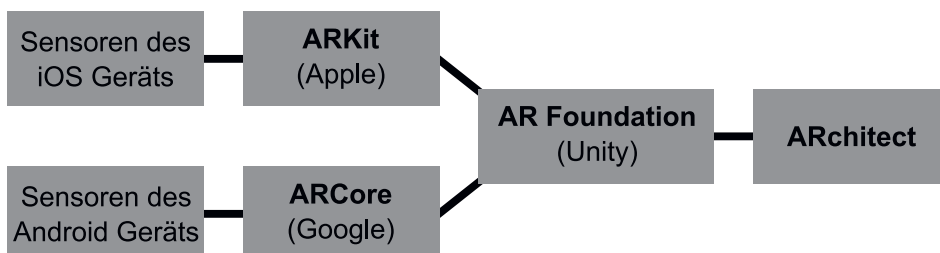


Abbildung 1: Technische Grundlagen von ARchitect-Apps. Informationen von Sensoren werden von den AR-Schnittschnellen des Gerätes interpretiert (ARKit bzw. ARCore). Unity's AR Foundation vereinheitlicht diese beiden Schnittstellen unter einem Dach. ARchitect baut die Funktionen von AR Foundation für didaktisch sinnvolle Settings aus.

ARchitect baut auf dieser Entwicklerschnittstelle auf und stellt Basisfunktionen bereit, die einfach an- und abwählbar sind. Zu den Funktionen zählen unter anderem das Projizieren von ausgewählten Objekten pro erkanntem Bild in der realen Umgebung (markerbasierte AR), die Auswahl und Manipulation von virtuellen Objekten mit Touch-Gesten auf dem Bildschirm und das Platzieren von virtuellen Objekten auf Flächen in der realen Umgebung (markerloses AR). Im Erstellungsprozess können diese Funktionen an- oder ausgeschaltet werden, sodass auch eine gleichzeitige markerlose und markerbasierte AR möglich ist. Die Objekte und Marker werden lokal auf dem Gerät gespeichert, sodass nach der Installation der App keine Internetverbindung mehr notwendig ist.

Virtuelle Objekte können im Unity Editor oder mithilfe von 3D-Grafiksoftware wie z.B. Blender konstruiert oder aus Datenbanken heruntergeladen und importiert werden. Chemisch bedeutsame 3D-Objekte wie Moleküle und Proteine lassen sich aus vielen Visualisierungsprogrammen wie Jmol (Eriksen et al., 2020), Avogadro (Hanwell et al., 2012) oder ChimeraX (Pettersen et al., 2020) exportieren und in Unity importieren. Daneben ist auch die Darstellung von Texten, Animationen und Videos möglich.

Eine Beispielanwendung für Android-Systeme kann von den Autoren oder dem Downloadbereich der Tagungswebsite bezogen werden.

Beispielanwendung: Membranorientierung von Aquaporin 1

Die Funktion von Proteinen und Enzymen wird maßgeblich durch ihre Faltung bestimmt. Aus diesem Grund bietet sich die Analyse von Proteinstrukturen besonders in AR-Anwendungen an, da diese intuitiver zu bedienen sind als Proteinvisualisierungsprogramme wie z. B. PyMOL (Sung et al., 2020). So können auch die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Makromolekülen dynamisch untersucht werden, wie z. B. Proteinfaltungen oder Enzym-Substrat-Interaktionen. Im Gegensatz zur VR sind AR-fähige Geräte schon in Schulen vorhanden oder die Anschaffung solcher Geräte ist günstiger.

Die Proteindatenbank archiviert Strukturdaten von verschiedensten Proteinen und stellt diese zum Download bereit (Berman, 2000). Beispielsweise lässt sich unter dem Code 1J4N die Struktur des integralen Aquaporin 1 finden (Sul, Han, Walian & Jap, 2001). Dieser Code kann in Visualisierungssoftware genutzt werden, um die Strukturinformationen herunterzuladen, die Darstellung und Einfärbung des Proteins zu verändern und als 3D-Objekt zu exportieren.

Dies kann zum Beispiel in einem Lehr-Lernkontext zur Untersuchung von Modellen eingesetzt werden. Die hier vorgestellte Beispielanwendung ermöglicht einen interaktiven Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungsformen eines Aquaporin-1-Monomers (Abb. 2). Lernende können nach der Platzierung des Aquaporin-1-Moleküls im Raum die Darstellung im Bändermodell mit der Darstellung im Kalottenmodell vergleichen. In einem zweiten Schritt werden alle hydrophoben Aminosäuren gelb und alle polaren Aminosäuren weiß eingefärbt. Durch die Betrachtung der Struktur im dreidimensionalen Raum und die Verknüpfung der Strukturinformationen mit der Polarität der Aminosäuren kann die

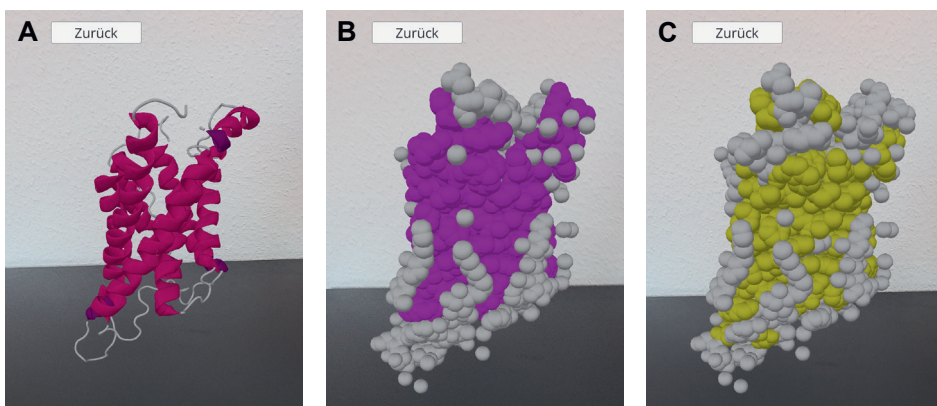


Abbildung 2: Bildschirmaufnahmen von der Aquaporin-Beispielanwendung. A) Aquaporin 1 im Bändermodell. B) Aquaporin 1 im Kalottenmodell (magentafarbene Helices-Aminosäuren). C) Aquaporin 1 im Kalottenmodell (hydrophobe Aminosäuren gelb, polare Aminosäuren weiß).

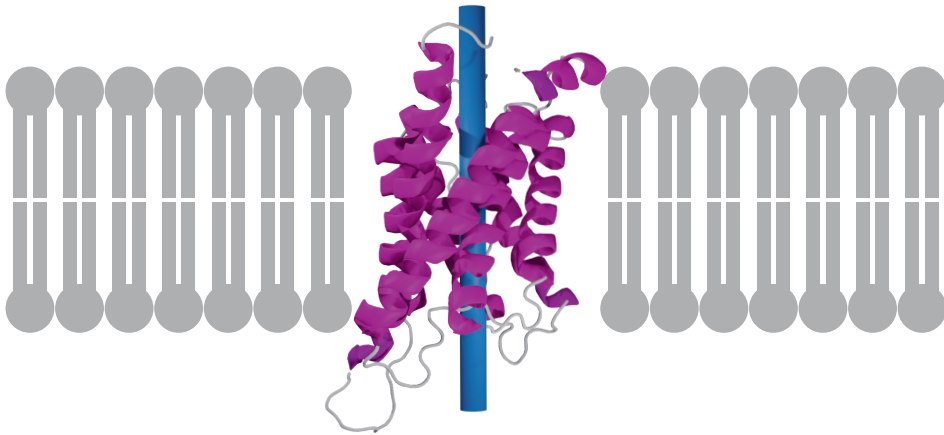


Abbildung 3: Orientierung des Aquaporin-1-Proteins (magenta) in der Biomembran (grau). Der Kanal ist als blaue Säule angedeutet.

Orientierung des zylindrischen Proteins im hydrophoben Bereich der Biomembran abgeleitet werden (Abb. 3). Daran anschließend ist z. B. die Verwendung der Materialien von Meisert (2009) denkbar, in denen die Funktionsweise des Aquaporin 1 durch die Modellierung in einer Molekulardynamik-Simulation untersucht und die Funktion von Modellen für den Erkenntnisweg reflektiert wird.

Ausblick

Die Funktionen von ARchitect sollen in Zukunft weiter ausgebaut und bedienerfreundlicher werden, sodass das Paket mit einigen Beispielobjekten und -anwendungen veröffentlicht werden kann. Dazu sollen auch ergänzende Aufgaben für Unterrichtsbeispiele entwickelt werden, z. B. zu Themen der Elektro- oder Stereochemie. Die Bedienerfreundlichkeit und Effektivität wird in einer Evaluation überprüft werden. Nach einer Registrierung in den App Stores von Google und Apple können die erstellten Anwendungen einer größeren Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11.
- Apple Inc. (2020). *ARKit | Apple Developer Documentation*. <https://developer.apple.com/documentation/arkit>
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47.

- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. & Kinshuk, D. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.
- Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., Shindyalov, I. N. & Bourne, P. E. (2000). The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Research*, 28(1), 235–242.
- Eriksen, K., Nielsen, B. E. & Pittelkow, M. (2020). Visualizing 3D Molecular Structures Using an Augmented Reality App. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1487–1490.
- Google Inc. (2020). *ARCore overview* | Google Developers. <https://developers.google.com/ar/discover>
- Hanwell, M. D., Curtis, D. E., Lonie, D. C., Vandermeersch, T., Zurek, E. & Hutchison, G. R. (2012). Avogadro: An advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. *Journal of Cheminformatics*, 4(1), 17.
- Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dörrenbächer-Ulrich, L. & Perels, F. (2018). Re-Experiencing Chemistry with Augmented Reality: New Possibilities for Individual Support. *World Journal of Chemical Education*, 6(5), 212–217.
- Huwer, J. & Seibert, J. (2018). A New Way to Discover the Chemistry Laboratory: The Augmented Reality Laboratory-License. *World Journal of Chemical Education*, 6(3), 124–128.
- Marquardt, M., Seibert, J., Lauer, L., Lang, V., Peschel, M. & Kay, C. W. M. (2020). Augmented Reality als Werkzeug zur Verknüpfung des Periodensystems der Elemente mit dem Bohr'schen Atommodell. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Wien 2019* (S. 948–951). Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie. Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(7), 424–430.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *SPIE proceedings series: Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies* (S. 282–292). Bellingham, Wash.: SPIE.
- Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Meng, E. C., Couch, G. S., Croll, T. I., Morris, J. H., Ferrin, T. E. (2021). UCSF ChimeraX: Structure visualization for researchers, educators, and developers. *Protein Science*, 30(1), 70–82.
- Probst, C., Fetzter, D., Lukas, S. & Huwer, J. (2021). Effekte von Augmented Reality (AR) zur Visualisierung eines dynamischen Teilchenmodells – virtuelle Modelle zum Anfassen. *CHEMKON*. Online-Vorveröffentlichung.
- Regenbrecht, H., Baratoff, G. & Wilke, W. (2005). Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 48–56.
- Sui, H., Han, B. G., Lee, J. K., Walian, P. & Jap, B. K. (2001). Structural basis of water-specific transport through the AQP1 water channel. *Nature*, 414(6866), 872–878.
- Sung, R.-J., Wilson, A. T., Lo, S. M., Crawl, L. M., Nardi, J., St. Clair, K. & Liu, J. M. (2020). BiochemAR: An Augmented Reality Educational Tool for Teaching Macromolecular Structure and Function. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 147–153.
- Unity Technologies (2020a). *Unity Real-Time Development Platform* | 3D, 2D VR & AR Engine. <https://unity.com/>
- Unity Technologies (2020b). *Das AR Foundation-Framework von Unity* | Unity. <https://unity.com/de/unity/features/arfoundation>

Erschließung des Konzepts Digitalität durch Internet-Challenges

Internet-Challenges sind seit einigen Jahren Bestandteil sozialer Netzwerke und erlangen u. a. auf YouTube hohe Aufruf- und Upvotenzahlen. Bekannte Challenges sind die Ice-Bucket-Challenge (einen Eimer voll Eiswasser über sich schütten), die Bird-Box-Challenge (mit verbundenen Augen alltäglichen Aufgaben nachgehen) und die Tide-Pod-Challenge (eine Waschmittelkapsel kauen). Aus chemiedidaktischer Sicht sind Internet-Challenges mit Substanzbezug interessant (Busse, 2013; Precht, 2020; Werthmüller, 2020). Bei diesen werden alltägliche Substanzen wie bspw. Zimt, Deo oder Waschmittelkapseln in Kontakt mit Haut, Augen oder Nase gebracht bzw. über den Mund aufgenommen. Solche Challenges sind leicht nachzuahmen und werden als ungefährlich wahrgenommen, bergen allerdings gesundheitliche Risiken, die den Akteur*innen oft nicht bekannt sind. Über die eingesetzte Substanz und die Erarbeitung gesundheitlicher Auswirkungen auf den Körper lassen sich Bezüge zum Chemieunterricht und der Gesundheitsbildung herstellen. Darüber hinaus bieten Internet-Challenges die Möglichkeit, Aspekte der Medienbildung in den Chemieunterricht miteinzubeziehen. Die Thematik dient als Anlass, das eigene Medienhandeln und Medieneinflüsse zu reflektieren. Diese Aspekte haben nicht immer direkten Bezug zum Fach Chemie, sind aber zur Reflexion dieses Internetphänomens notwendig, vor allem, wenn es um die Frage geht, weshalb Menschen überhaupt an Challenges teilnehmen.

1. Lehrer*innenperspektiven auf Internet-Challenges

Der Kern des Dissertationsvorhabens der Autorin (J.W.) ist die Perspektive von Lehrer*innen auf Internet-Challenges, da diese Personengruppe für die Umsetzung von Gesundheits- und Medienbildung im Unterricht verantwortlich zeichnet. Mithilfe einer Interviewstudie wurde sich dem Forschungsfeld genähert. Ziel war es, Einblicke zu bekommen, an welche schulischen und individuellen Voraussetzungen angeknüpft werden kann. Anhand der Befunde wird ersichtlich, dass die interviewten Lehrer*innen zu Internet-Challenges im schulischen und privaten Bereich zunächst nur wenig Bezug haben. Während alle Befragten die Ice-Bucket-Challenge kannten, war ihnen die Cinnamon-Challenge (Zimtpulver schlucken), die innerhalb der Interviews als Referenz gewählt wurde, unvertraut (vgl. Werthmüller & Precht, 2021). Aus dem geringen Bezug zu Internet-Challenges ergeben sich für einige der Interviewten Unsicherheiten, inwiefern ihre Schüler*innen mit dieser Art von Wagnissen in Kontakt kommen und wie das Gefahrenpoten-

zial der Cinnamon-Challenge einzuschätzen ist. Es lassen sich jedoch medienpädagogische Reflexionen der Lehrer*innen erkennen, bspw. indem die Dynamik, die der Verbreitung von Internet-Challenges zugrunde liegt, hinterfragt wird, speziell, wie diese entstehen und wieso sie „Anhänger*innen“ finden oder in Form der Diskussion der Neuartigkeit des Phänomens im Unterschied zu bekannten Formaten medial vermittelten risikokonnotierten Verhaltens wie „Jackass“ (vgl. Werthmüller & Precht, 2021). Resümierend bestimmen somit Fragen nach der Neu- oder Andersartigkeit bestimmter Handlungsformen, die im oder durch den digitalen Raum entstehen, sowie deren Dynamik die Richtung der medienpädagogischen Reflexionen. Die Interviewten artikulieren Unterstützungsbedarfe an fachlichen und auf Digitalität bezogenen Aspekten. Diesbezüglich liefert das Dissertationsvorhaben Lösungsvorschläge, die an anderer Stelle publiziert werden.

2. Kultur der Digitalität

Innerhalb dieses Beitrags soll ein erster Schritt getan werden, diesen Bedarf aufzugreifen, indem Internet-Challenges aus einer konkret auf Digitalität bezogenen Perspektive betrachtet werden. Anlass hierfür bot die Kritik von Huwer, Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen (2019), bildungswissenschaftliche Diskurse widmeten sich vor allem technologiebezogenen Aspekten der Digitalisierung und vernachlässigten soziale und kulturelle Transformationsprozesse im Zuge von Digitalisierung. Die Auseinandersetzung mit diesen sollte, so Huwer et al. (2019) sowie Schiefner-Rohs (2017), ihren Weg in den Unterricht finden, wenn intendiert wird, Schüler*innen zu einer mündigen Teilhabe an der digitalen Gesellschaft zu befähigen (KMK, 2017). Um dies umzusetzen, sollten vor allem die Lehrkräfte in den unterschiedlichen Ausbildungsphasen dazu befähigt werden, sich mit fachbezogenen Transformationsprozessen professionell auseinanderzusetzen. Der vorliegende Beitrag unterstützt diesen eingeschlagenen Weg mit einem Blick auf Internet-Challenges, um das Meta-Konzept Digitalität für Lehrpersonen an einem praxisrelevanten Sachverhalt zu erschließen. Die Beschreibung der Kultur der Digitalität geht auf Felix Stalder zurück. Die drei Wesensmerkmale dieser – Referenzialität, Gemeinschaftlichkeit und Algorithmizität (Stalder, 2017) – werden hier zum Ausgangspunkt der Darstellungen genommen. Diese drei Merkmale stellen nach Stalder sich abzeichnende Konstanten dar, die helfen können, aktuelle kulturelle Entwicklungen zu beschreiben. Im Folgenden werden die Merkmale skizziert und anschließend zu Internet-Challenges in Bezug gesetzt, um zu einem tieferen Verständnis dieser beizutragen und deren Beschaffenheit als Spiegel kultureller Entwicklungsprozesse zu verstehen.

2.1 Referenzialität

Sie ist gekennzeichnet durch die Auswahl, Verwendung und Veränderung bereits bestehender kultureller Materialien (bspw. Texte, Bilder, Videos), sodass sich neue Bezüge ergeben und neues Material mit neuer Bedeutung geschaffen wird. Wie sich Referenzialität auf der Ebene von Internet-Challenges zeigt, lässt sich anschaulich an der Bird-Box-Challenge verdeutlichen. Der Film *Bird Box* erschien 2018 auf Netflix. Der Film handelt von einer mysteriösen Kraft, die ihre Opfer durch Blickkontakt dazu bringt, sich selbst umzubringen. Die Hauptcharaktere des Films versuchen durch Tragen von Augenbinden diesen Blickkontakt zu vermeiden, um zu überleben. Nach Angaben der Website Know Your Meme dauerte es lediglich drei Tage, bis Videos der Bird-Box-Challenge auf YouTube, Instagram und Twitter erschienen (Bird Box Challenge, 2019). Innerhalb dieser Videos trugen die Teilnehmer*innen Augenbinden und gingen Alltäglichem nach wie Spazierengehen und Autofahren. Die Anzahl solcher Videos stieg rapide an. Wie an diesem Beispiel ersichtlich wird, werden durch einige Internet-Challenges aktuelle Begebenheiten aufgegriffen. Als Ausgangspunkt für diese Art von Referenzialität dienen ganz unterschiedliche Materialien wie Filme, Musik(videos) oder soziale Anliegen. Eine Challenge knüpft an Erfahrungen und Überzeugungen potenzieller Teilnehmer*innen an und erzeugt darüber Resonanz. Das Anknüpfen an Vorerfahrungen bzw. den eigenen Referenzrahmen beeinflusst nach Schlaile, Knausberg, Mueller & Zeman (2018) maßgeblich, ob eine Person an einer Internet-Challenge teilnehmen wird. Auch die Referenzrahmen für alltägliche Substanzen, die in substanzbezogenen Challenges verwendet werden, basieren auf Vorwissen. Das Gros der Personen, die eine Cinnamon-Challenge filmten, berichtete, dass diese nicht gefährlich sein könne, da ihnen der Zimtgeschmack angenehm erschien. Im Chemieunterricht sollte dieser fragwürdige Referenzrahmen um wissenschaftliche Betrachtungsweisen erweitern werden, um das Gefahrenpotenzial, das von Zimt ausgehen kann, fachlich korrekt beurteilen zu können.

2.2 Gemeinschaftlichkeit

Gemeinschaftliche Formationen sind nach Stalder (2017) charakterisiert durch kollektiv getragene Referenzrahmen. Durch sie wird die Wahrnehmung der Mitglieder von Handlungen und Objekten strukturiert. Es gilt hier die eigene Identität bzw. individuelle Position in den eigenen sozialen Netzwerken bewusst darzustellen. Unterschiede wie Gemeinsamkeiten werden in solchen Formationen gleichzeitig sichtbar gemacht. Gemeinschaftlichkeit lässt sich auf Ebene der Internet-Challenges deutlich erkennen. Bei Internet-Challenges handelt es sich um ein soziales Phänomen, das darauf abzielt, dass viele Menschen derselben Handlung nachgehen (Schlaile et al., 2018). Partizipieren verschiedenste Teilnehmer*innen, entsteht

ein Gemeinschaftsgefühl. Über Nominierungen zur Challenge-Teilnahme kann zudem gezielt das Netzwerk persönlicher Kontakte dargestellt werden. Auch der Prozess der Individualisierung gemeinschaftlicher Formationen lässt sich durch Internet-Challenges aufgreifen. Nach Burgess, Miller & Moore (2018) geht es bei der Teilnahme an einer Challenge fernerhin um die Weiterentwicklung dieser. Eine Challenge beinhaltet explizit und implizit ein Set an Regeln, wie sie durchzuführen ist. Bei der Necknomination bspw. bestanden diese expliziten Regeln darin, aufgrund einer Nominierung einen halben Liter Bier in einem Zug zu trinken, sich dabei zu filmen, das Video zu veröffentlichen und drei weitere Personen zu nominieren (Burgess et al., 2018). Die entstandenen Videos lassen sich in zwei Typen einteilen: zum einen in Videos, in denen die Teilnehmer*innen besondere öffentliche Orte aufsuchten, um der Challenge nachzugehen, zum anderen in Videos, in denen das Bier durch ein anderes Getränk ersetzt wurde. Bei Letzterem handelt es sich meist um gewagte Mixturen. In Gruppeninterviews, die Burgess et al. (2018) zur Necknomination führten, berichteten die Teilnehmer*innen der Challenge, es ginge ihnen darum, ein Video zu drehen, das sich von den anderen Videos durch die individuelle Performance abhebe, ohne sich jedoch zu sehr von diesen zu entfernen. Die Herausforderung bestand darin, Konformität und Individualität zu balancieren. Die Regeln der Challenge sowie ein Verständnis davon, in welchem Maße diese eingedenk des Wunsches nach Gemeinschaft angepasst werden können, verweist auf einen gemeinsamen Referenzrahmen der Challenge-Teilnehmer*innen. Darüber hinaus wird deutlich, dass ein tiefgehendes Verständnis der Dynamik einer Challenge, das mehr als nur Reproduktion expliziter Regeln ist, nötig sein kann, um erfolgreich an einer Internet-Challenge teilzunehmen.

2.3 Algorithmizität

Sie ist nach Stalder (2017) gekennzeichnet durch die maschinelle bzw. automatische Sortierung von Informationen. Sie reduziert die Komplexität großer Informationsmengen, wie sie das Internet bereitstellt, damit Informationen für Menschen übersichtlich zugänglich werden. Durch den Vorgang des Sortierens werden neue Zusammenhänge hergestellt, die wiederum die Wahrnehmung von Menschen und die Bildung individueller und kollektiver Referenzrahmen beeinflussen. Algorithmizität ist an substanzbezogenen Internet-Challenges exemplifizierbar, da diese Challenges vermeintlich harmlos erscheinen, obwohl sie erhebliche gesundheitliche Risiken bergen können. Die Algorithmen empfehlen den Usern Videos, die ihnen gefallen könnten. Von Relevanz ist in diesem Kontext die Überlegung, ob Challenge-Videos, bei denen sich Menschen schwer verletzen, oder Videos, die die heftigen Folgeschäden einer Challenge dokumentieren, überhaupt auf einer Plattform wie YouTube zu sehen sind (Precht, 2020). Für das Fehlen oder die verhältnismäßig geringe Anzahl dieser Videos kann es verschiede-

ne Gründe geben. Es ist denkbar, dass eine bei der Challenge verunglückte Person das Video nicht mehr hochladen kann oder nicht mehr mit einem Millionenpublikum teilen möchte. Es ist auch denkbar, dass Videos, in denen augenscheinlich schwere Schädigungen zu sehen sind, von YouTube entfernt wurden, da sie gegen deren Richtlinien verstoßen. Avery, Rae, Summitt & Kahn (2016) stützen diese Gedanken. Die an einem Verbrennungszentrum beschäftigten Ärzt*innen haben 50 Videos der Fire-Challenge gesichtet, bei der eine brennbare Flüssigkeit über den Körper gegossen und entzündet wird, gefolgt vom eigenen Löschversuch. Sie kommen zu dem Schluss, dass die einsehbaren Videos der Fire-Challenge nur äußerst selten ihre potenziell verheerenden Folgen aufzeigen. Keines der von ihnen gesichteten Videos zeigte die Schwere der Verletzungen der Patient*innen, die in Folge der Fire-Challenge im Verbrennungszentrum behandelt wurden. Durch die Verlinkung ähnlicher Videos sehen die Zuschauenden mit großer Wahrscheinlichkeit also nur vermeintlich geglückte Versuche der Challenge. Dies hat maßgeblichen Einfluss darauf, wie Challenges, deren Umsetzbarkeit und Gefahrenpotenzial durch die zuschauenden Personen wahrgenommen werden. Mit jedem gesehenen Video nimmt bei den Zuschauenden die Gewissheit zu, mit der dargebotenen Handlung vertraut zu sein, potenzielle Folgen einschätzen zu können und folglich die Challenge selbst unbeschadet absolvieren zu können. Vor diesem Hintergrund sollte mit Schüler*innen explizit reflektiert werden, dass sie anhand der einsehbaren Videos einen gefilterten Einblick in potenzielle Folgen von Challenges erhalten, der schwere Schädigungen oder langwierige Folgebehandlungen von Verletzungen nicht angemessen abbildet. Vor allem eine umfassende Auseinandersetzung mit gesundheitlichen Gefahrenpotenzialen, die von substanzbezogenen Internet-Challenges ausgehen, lässt sich mit Bezug zur (Bio-)Chemie aufarbeiten.

3. Fazit und Ausblick

Die drei primären Merkmale von Digitalität bieten einen geeigneten Rahmen zur Reflexion aktueller digitaler Handlungspraxen und dem eigenen Medienhandeln. Um sich der Thematik Internet-Challenges im naturwissenschaftlichen Unterricht zu nähern, werden in Kooperation mit dem Lehrer*innennetzwerk T³ Unterrichtsmaterialien erstellt, in denen ausgewählte Internet-Challenges mittels digitaler Messwerterfassung experimentell modelliert werden.

Literatur

- Avery, A. H., Rae, L., Summitt, J. B. & Kahn, S. A. (2016). The Fire Challenge: A Case Report and Analysis of Self-Inflicted Flame Injury Posted on Social Media. *Journal of Burn Care & Research: Official Publication of the American Burn Association*, 37(2), 161–165. <https://doi.org/10.1097/BCR.0000000000000324>

- Bird Box Challenge* (2019, 3. Januar). Know Your Meme. <https://knowyourmeme.com/memes/bird-box-challenge>
- Burgess, A., Miller, V. & Moore, S. (2018). Prestige, Performance and Social Pressure in Viral Challenge Memes: Neknomination, the Ice-Bucket Challenge and SmearForSmear as Imitative Encounters. *Sociology*, 52(5), 1035–1051. <https://doi.org/10.1177/0038038516680312>
- Busse, M.-H. (2013). *Mutproben aus naturwissenschaftlicher Perspektive. Befunde und Interventionsansätze zu einem aktuellen Internetphänomen*. Uelvesbüll: Der andere Verlag.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU-Journal*, 5(72), 358–364.
- Kultusministerkonferenz (2017). „Bildung in der digitalen Welt“: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016 in der Fassung vom 07.12.2017. https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- Prechtl, M. (2020). Lehrkräfte sollten sie kennen: Internet-Challenges. *Chemie in unserer Zeit*, 54(1), 56–62.
- Schiefner-Rohs, M. (2017). Spannungsfelder und blinde Flecken. Medienpädagogik zwischen Emanzipationsanspruch und Diskursvermeidung. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 27 (Spannungsfelder & blinde Flecken), 153–172. <https://doi.org/10.21240/mpaed/27/2017.10.15.X>
- Schlaile, M. P., Knausberg, T., Mueller, M. & Zeman, J. (2018). Viral ice buckets: A memetic perspective on the ALS Ice Bucket Challenge's diffusion. *Cognitive Systems Research*, 52(2018), 947–969. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.09.012>
- Stalder, F. (2017). *Kultur der Digitalität* (3. Auflage, Originalausgabe). Berlin: Suhrkamp.
- Werthmüller, J. (2020). Internet Challenges from a Health Education Perspective. In *Conference proceedings: New perspectives in science education / 9th Conference edition, Florence, Italy, 22–23 March 2020* (S. 49–53). Padova: Libreriauniversitaria.it.
- Werthmüller, J. & Prechtl, M. (2021). Sichtweisen von Lehrkräften im Fach Chemie auf das Phänomen Internet-Challenges. In *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Tagungsband der Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie, 465–468.

MINT-Berufsorientierung mit dem computerunterstützten DiSenSu-Tool

Im Projekt DiSenSu (vgl. Markic, Pechtl, Hönig, Küsel, Rüschenpöhler & Stubbe, 2018) wurde ein computerunterstütztes Tool, das im Rahmen von berufsorientierenden Coachings angewendet wird, entwickelt. Es wurde für Mädchen und junge Frauen mit Migrationshintergrund ab einem Alter von dreizehn Jahren bis zum Schulabschluss aller Schulformen entwickelt. Ziel des Projektes ist es, die Attraktivität und Vielfalt chemischer Berufsfelder vorzustellen und das Interessenfeld der jungen Frauen zu erweitern. Das Projekt befindet sich in der Endphase. Es wurden über 600 Coachings durchgeführt. Alle Bestandteile des Coachings, wie das digitale Tool, Handbücher, Comic, Interviewleitfaden und Berufsorientierungsinformationen, können über die Projektwebsite (www.disensu.de) abgerufen und zum Beispiel im Rahmen von anderen Berufsorientierungsprojekten eingesetzt werden. In diesem Beitrag wird die Offline-Version des Tools vorgestellt.

Konzeption und Struktur des DiSenSu-Coachings

DiSenSu führt verschiedene Konzepte der MINT-Berufsorientierung zusammen. Abbildung 1 zeigt ein Schema des Ablaufs eines berufsorientierenden Coachings.

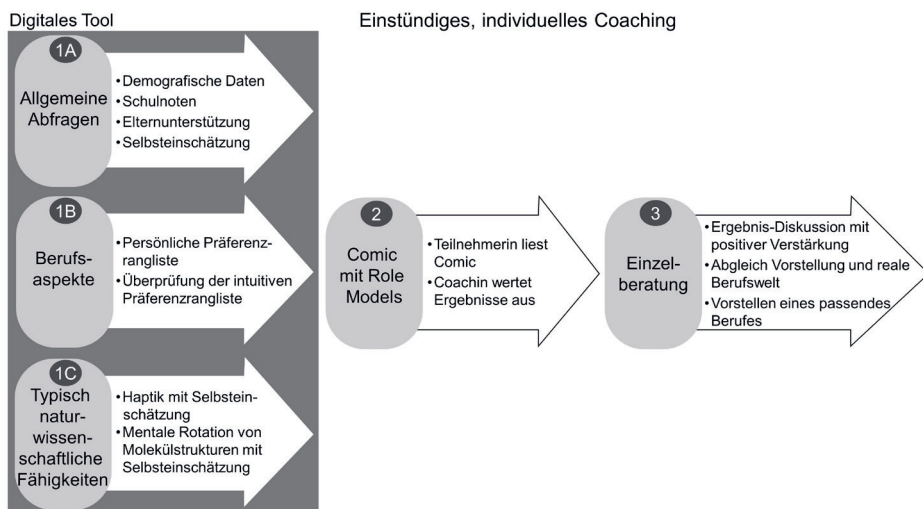


Abbildung 1: Schematische Darstellung des dreischrittigen Ablaufs eines DiSenSu-Coachings.

Das Coaching startet nach einer kurzen Einleitung mit dem digitalen Tool (Abb. 1, Schritt 1). Das digitale Tool ist selbsterklärend, sodass die Coachin nur für konkrete Nachfragen zur Verfügung steht. Das Tool führt die Teilnehmerinnen durch verschiedene Fragebereiche, unter anderem zur Erfassung von demografischen Daten, Schulnoten und der Ausprägung der Unterstützung im Elternhaus. Von besonderer Relevanz sind die Fragen zur allgemeinen Selbsteinschätzung (Abb. 1, Schritt 1A). Erste quantitative Befunde zum Zusammenhang der Schulnoten und der Selbstwirksamkeitserwartung liegen vor (vgl. Stubbe, Brinkmann & Prechtel, 2021).

Im nächsten Schritt (s. Abb. 1, Schritt 1B) geht es um die Eruierung persönlicher Berufsansprüche der Teilnehmerinnen, die sich mitunter erstmals darüber Gedanken machen. Jeweils zwei Begriffe aus den Kategorien Autonomie, Sicherheit/Erfolg, Wissenschaft, Privatleben und Altruismus wurden hierfür aus dem MINT-Nachwuchsbarometer ausgewählt (acatech & Körber Stiftung, 2014, S. 68f.). Wie Jugendliche diese Begriffe auffassen, wurde in einer Befragung ermittelt (Brinkmann, Kellermann & Prechtel, 2019). Im Gespräch, nach erfolgreicher Anwendung des digitalen Tools, hilft die Coachin der Teilnehmerin dabei, diese Kategorien in möglichen naturwissenschaftlichen Berufsfeldern wiederzufinden und diskutiert mit ihr das Gesamtergebnis. Um die Aussagefähigkeit der Rangliste berufsbezogener Präferenzen zu erhöhen, folgt im Tool auf das erste, im Wesentlichen intuitive Erstellen der Rangliste, die Gegenüberstellung von je zwei Begriffen. So wird eine zweite, deutlich reflektiertere Präferenzrangliste generiert. Für den Berufsfindungsprozess ist es weiterhin bedeutend, berufliche Eignungen zu ermitteln. Dies erfolgt vermittelt zweier Aufgaben im Tool: durch eine praktische Pipettierübung und eine Aufgabe zum räumlichen Denken. Das Volumemessen von Flüssigkeiten mit einer Pipette wird als eine grundlegende Fertigkeit im Laboralltag angesehen (vgl. Kremer & Bannwarth, 2014). Die Übung zur Bestimmung von Perspektiven auf Molekülmodelle zählt zu der Art von Aufgaben, die als Indikatoren in Intelligenztests (Wechsler, 2017) zur Ermittlung des visuell-räumlichen Denkens eingesetzt werden. Begleitend zu diesen Aufgabentypen wird die Selbstwirksamkeit der Teilnehmerin ermittelt, da sie nach Gottfredson (2002) einen starken Einfluss auf berufliche Interessen und damit auf die Berufswahl hat. Nach Durchführung des digitalen Tools lesen die Teilnehmerinnen einen diversitätssensiblen Comic mit Role Models und chemiebezogenem Sachinhalt (vgl. Jeserich & Prechtel, 2020). Während des Lesens analysiert die Coachin die Befunde und bereitet sich anhand ihres Interviewleitfadens auf das Gespräch vor (Abb. 1, Schritt 2). Der Comic dient als Einstieg in das Beratungsgespräch. Alle Ergebnisse werden im resümierenden Gespräch diskutiert. Danach erhalten die Teilnehmerinnen Einblicke in naturwissenschaftsbezogene Berufsfelder und Tipps für ihre individuelle Berufsorientierung. Das Coaching dauert insgesamt eine Zeitstunde.

Programmierung des Offline-Tools

Das Tool wurde mit 64-Bit Windows 10 in Excel 2016 mit UserForms und Makros mittels VBA programmiert. Das Tabellenkalkulationsprogramm ermöglicht, in Verbindung mit VBA, differenzierte Abfragen. Zur einfachen Nutzung wurde die Datei so programmiert, dass die Coachin immer mit demselben Startbild anfängt. Für die allgemeinen Angaben, wie etwa das Alter, wurden Drop-Down-Listen erstellt. Die UserForms unterliegen einem gleichmäßigen Design und sind so programmiert, dass sie sich der Bildschirmgröße des verwendeten Laptops anpassen. Vor jedem Bildschirmseitenwechsel wird überprüft, ob alle Felder ausgefüllt sind. Wenn nicht, erscheint die Aufforderung: *Du hast noch nicht alle Fragen beantwortet. Bitte fülle die fehlenden Felder aus.* Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Programmierung mit fünf Drop-Down-Feldern. Alle aufgenommenen Daten werden in einem Tabellenblatt gespeichert und nach Abschluss des Coachings für die Coachin in eine übersichtliche Ansicht übertragen.

```
Dim i As Integer
'Prüfung ob alle Felder Inhalte haben
For i = 1 To 5 'In der User Form werden 5 Drop-Down-Felder verwendet
    If <UserName>.Controls("ComboBox" & CStr(i)).Value = "" Then
        MsgBox ("Du hast noch nicht alle Fragen beantwortet. Bitte fülle die fehlenden Felder aus.")
        Exit Sub 'Beendet diese Sub-Routine
    End If
Next
```

Abbildung 2: Beispiel zur Programmierung „Kontrolle ausgefülltes Drop-Down-Feld“.

Gestaltung des computerunterstützten, berufsorientierenden Tools

Die Teilnehmerin bewegt sich durch Klicken farbig markierter Schaltflächen selbstständig durch das Programm. Es folgen Abfragen demografischer Daten (Abb. 3) und hinsichtlich Unterstützung durch Eltern, Schulnoten und allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung. Die Präferenzrangliste ist als Drop-Down-Menü organisiert (Abb. 4).



Bitte fülle die Felder aus:

Geschlecht:

Alter:

Nationalität:


Geburtsland:

Wie viele Sprachen sprichst du?

Hast du noch eine andere Nationalität?

Weiter

Abbildung 3: Screenshot: Abfrage demografischer Daten mittels Drop-Down-Liste.




Präferenzrangliste

Die nachfolgenden Begriffe beschreiben verschiedene Ansprüche an einen Beruf. Bitte lies sie dir durch.
Überlege dir dann, welcher dieser Begriffe für deinen zukünftigen Beruf wichtig sind.
Trage die Begriffe entsprechend ihrer Wichtigkeit für dich in die Liste ein.

Begriffe zu Berufsansprüchen:

Vereinbarkeit von Familie/Beruf	anderen helfen
hohes Einkommen	Flexible Arbeitszeit
wissenschaftliche Tätigkeit	Eigene Ideen verwirklichen
nützlich für Allgemeinheit	Unbekanntes erforschen
Aufstiegsmöglichkeiten	selbstständig Entscheidungen treffen

Rangliste:



1.

2.

3.

4.

5.


6.

7.

8.

9.

10.




Ich bin fertig mit der Liste.

Abbildung 4: Screenshot: Eingabemaske der Präferenzrangliste.

Der nächste Abschnitt des Tools beschäftigt sich mit naturwissenschaftlichen Fertigkeiten und Fähigkeiten. Bei der haptischen Aufgabe soll die Teilnehmerin, nach einem Probelauf, dreimal ein Gramm Wasser exakt in eine Schale pipettieren und ihr Ergebnis in das Programm eingeben. Die Teilnehmerin schätzt ihr Gelingen ein, bevor sie agiert (Abb. 5). Die Aufgabe zum räumlichen Denken präsentiert Bilder von Molekülmodellen aus zwei Perspektiven (Abb. 6). Die Teilnehmerin ordnet die korrekte Perspektive in den Aufgaben, die sich in ihrer Schwierigkeit unterscheiden, zu. Ihre Einschätzung der Aufgabenschwierigkeit wird abgefragt.

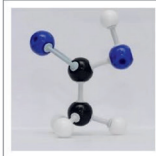


Abbildung 5: Haptische Aufgabe: Pipettieren.




Aufgabe 1

Du siehst hier zwei Bilder desselben Moleküls. Es wurde von verschiedenen Standpunkten aus fotografiert. Gib anhand der Fotografien an, aus welcher Richtung das Bild B im direkten Vergleich mit Bild A fotografiert wurde.



A



B

Im Vergleich zu Bild A wurde Bild B von diesem Standpunkt aus fotografiert:

☒ oben

☐ unten

☐ links

☐ rechts

☐ hinten

Ich empfand die Aufgabe als: leicht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ schwer

Weiter

Abbildung 6: Aufgabe zum räumlichen Denken.

Am Ende der Aufgaben erhält die Teilnehmerin die Auflösung, d.h. die Anzahl ihrer korrekten Lösungen. Erneut wird nach der Selbsteinschätzung gefragt. Damit schließt das Tool. Für die Coachin stellen die gesammelten Daten eine wertvolle Stütze für das Beratungsgespräch dar.

Review zum digitalen Tool

Durch den Einsatz des digitalen Tools werden alle Teilnehmerinnen gleich behandelt. Jede erhält die gleichen Informationen auf gleiche Weise. Dies baut mögliche Hemmschwellen der Teilnehmerinnen gegenüber Coaching und Coachin ab. Die Arbeit an einem Laptop bietet eine Abwechslung zum schulischen Alltag und ermöglicht den Teilnehmerinnen, im eigenen Tempo zu arbeiten. Die Coachin steht während der Durchführung jederzeit für Fragen zur Verfügung und bietet ihre Expertise an. Während der Projektphase ergaben sich so keine Schwierigkeiten beim Einsatz des Tools. Das Feedback der Teilnehmerinnen war durchweg positiv. Sie nahmen insbesondere die Eins-zu-Eins-Betreuung und Beratung sowie die praktische und spielerische Herangehensweise an naturwissenschaftliche Inhalte positiv wahr.

Das Tool ist inzwischen als Online- und Offline-Version auf der Webseite des Projektes (www.disensu.de) verfügbar. Das begleitende Handbuch beschreibt die Handhabung des Tools und bietet Hilfen für die Gesprächsführung mit den Teilnehmerinnen an. Es ist zu beachten, dass als Grundvoraussetzung das Programm Excel für die Offline-Version vorhanden sein muss, auch muss eine der Umgebung (Wohnraum, Schülerlabor) angepasste haptische Übung ausgewählt werden. Geeignete Übungen werden noch erarbeitet und dann auf der Projektwebseite veröffentlicht.

Förderhinweis

Das Projekt DiSenSu (DiversitySensiblerSupport) wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01FP1725 und 01FP1726 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autor*innen.

Literatur

- Acatech/Körber-Stiftung (2015). *MINT-Nachwuchsbarometer 2014*. Hamburg.
- Brinkmann, U., Kellermann, S. & Precht, M. (2019). Was verstehen Jugendliche unter „flexibler Arbeitszeit“, „Vereinbarkeit von Familie und Beruf“ und weiteren Termini zur Erfassung von Berufsansprüchen in MINT? – Befunde aus einer Befragung im Rahmen des DiSenSu-Projektes. *Plus Lucis*, 4, S. 17–21.
- Gottfredson, L. (2002). Gottfredson's Theory of Circumscription, Compromise and Self-Creation. In D. Brown (Hrsg.), *Career Choice and Development* (S. 85–148). San Francisco: Jossey-Bass.
- Jesserich, T. & Precht, M. (2020). Komparative Diskursanalyse zu Focus Groups zu zwei Fotostories im berufsorientierenden Projekt DiSenSu. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (S. 756–759). Duisburg-Essen: Univ. Duisburg-Essen.
- Kremer, B. P. & Bannwarth, H. (2014). *Einführung in die Laborpraxis: Basiskompetenzen für Laborneulinge*. Heidelberg: Springer Spektrum.

- Markic, S., Precht, M., Hönig, M., Küsel, J., Rüschenpöhler, L. & Stubbe, U. (2018). DiSenSu. Diversity Sensitive Support for Girls with Migration Background for STEM Careers. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.), *Building bridges across disciplines* (S. 215–218). Aachen: Shaker.
- Stubbe, U., Brinkmann, U. & Precht, M. (2021). Quantitative Befunde des berufsorientierenden Projekts DiSenSu. In S. Habig (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik – Online-Jahrestagung* (S. 298–301).
- Wechsler, D. (2017). *WISC-V – Wechsler Intelligence Scale for Children*. Pearson.

Mit Hilfe von Augmented Reality das Schalenmodell einführen und erarbeiten

1. Einleitung

Nicht erst seit der Corona-Pandemie kommt der Digitalisierung im Unterricht eine besondere Bedeutung zu. Digitale Werkzeuge werden schon seit geraumer Zeit genutzt, jedoch sind die Voraussetzungen an vielen Schulen noch nicht ausreichend. So mangelt es häufig an einem funktionierenden WLAN in den Schulgebäuden sowie an der Ausstattung der Lehrenden und Lernenden mit digitalen Endgeräten (Eickelmann, Bos & Labusch, 2019). Die Corona-Pandemie zeigt in diesem Zusammenhang eine Beschleunigung in der Ausstattung der Schulen sowie eine Steigerung des politischen Willens, dies voranzutreiben (Huwer & Bannerji, 2020). Die folgende Studie befasst sich mit der Möglichkeit, die Lernenden durch dreidimensionales, interaktives Material in Form von Augmented Reality (AR) beim Erlernen des Schalenmodells zu unterstützen. Mit Hilfe von Augmented Reality können Sachverhalte auch aus dem submikroskopischen Bereich dreidimensional und interaktiv angezeigt werden. Dies geschieht in der Regel durch ein Tablet oder ein Smartphone, das die Inhalte in die reale Umgebung projiziert. Die so zu betrachtenden Inhalte sind interaktiv und können vom Nutzer beeinflusst werden. Dafür kann der Nutzer mit Hilfe eines Tangible (hier „MergeCubes“) die Lage des angezeigten Inhalts beeinflussen oder direkt am Tablet oder Smartphone die Inhalte beeinflussen. Die Inhalte sollen den Lernenden, neben der Möglichkeit der Visualisierung der Teilchenebene, motivieren, sich mit den Inhalten auf der submikroskopischen Ebene zu beschäftigen.

2. Bisheriger Forschungsstand

2.1 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) ist eine zukunftsweisende Technologie, die in diversen Alltagssituationen bereits vorkommt. Bei Kindern und Jugendlichen ist die Technologie am ehesten im Bereich des Gamings (z. B.: Pokémon Go) verbreitet, während es Erwachsenen z. B. in Form eines Headup-Displays im Auto begegnet, bei welchem Informationen über Geschwindigkeit, Tempolimits oder Navigationsanweisungen direkt auf die Windschutzscheibe projiziert werden. Technisch gesehen handelt es sich bei Augmented Reality (AR) nach Milgram und Kollegen um eine mit digitalen Inhalten erweiterte Realität (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino,

1995). Technisch kann die virtuelle Information z.B. in die Umgebung projiziert oder an einem Marker digital „befestigt“ werden. Solche Marker (oftmals auch als Trigger bezeichnet) können von einfachen QR-Codes bis hin zu realen 3D-Objekten reichen. Für eine nähere Analyse von AR siehe Beitrag von Krug et al. (2021) in diesem Band.

2.2 Stand der Forschung

Augmented Reality spielt zunehmend eine wichtige Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht (Thyssen et al., 2020; Seibert et al., 2020a & b; Probst, Lukas & Huwer, 2020; Probst & Huwer, 2020). In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz von Lehr-Lernszenarien, welche mit Augmented Reality angereichert sind, einen positiven Einfluss auf die Lernleistung (Akçayır & Akçayır, 2017; Bacca, Baldiris, Fabregat & Graf, 2014; Cai, Liu, Yang & Liang, 2019; Cheng & Tsai, 2013), auf die autonome Lernhaltung (Chang & Yu, 2018) sowie auf die Kombination von Lernerfolg, intrinsischer Motivation und Selbstwirksamkeitserwartungen (Huwer, Lauer, Dörrenbächer-Ulrich, Perels & Thyssen, 2019) von Lernenden haben kann.

Auf diese Erkenntnisse aufbauend wurde eine Studie entwickelt, die darauf abzielte, den Lernenden als Unterstützung eine dreidimensionale und interaktive Hilfe an die Hand zu geben, um das Schalenmodell besser verstehen und lernen zu können. Bisher stehen als Lernmittel im schulischen Unterricht in der Regel Abbildungen im Schulbuch zur Verfügung, welche statisch und damit nicht dynamisch sind, wodurch Schüler*innen sich die Bewegung der Elektronen auf den Kreisbahnen vorstellen müssen. Im schulischen Curriculum folgt das Schalenmodell auf das Dalton- und Rutherfordmodell (Bindernagel & Eilks, 2009), welches von einem dreidimensionalen Atombau ausgeht. Daran folgt i.d.R. ausschließlich eine zweidimensionale Betrachtung des Atommodells, so kann es hier zu fehlerhaften Vorstellungen kommen. Bedauerlicherweise ist das Schulbuch als analoges Medium weder in der Lage, dynamische Prozesse (Elektronenbewegungen) noch echte 3D-Darstellungen zu visualisieren (3D-Darstellungen in Büchern sind dennoch lediglich auf einer 2D-Oberfläche abgebildet). Digitale Schulbücher können zwar Animationen enthalten, diese bleiben jedoch zweidimensional.

Ziel dieser Studie ist es, die Effekte der Anwendung einer AR-Lernumgebung zum Schalenmodell, welche dynamische Prozesse auf einem echten 3D-Objekt darstellt, im Hinblick auf Motivation, schulische Selbstwirksamkeitserwartung und mit traditionellen Lernmaterialien und digitalen, interaktiven, auf einem Tablet dargestellten Lernmaterial zu vergleichen. Da bei Habig (2019) Unterschiede bei der Verwendung von AR in Lehr-Lernszenarien auftraten, wobei Männer in der Studie deutlich besser abschnitten, wird darüber hinaus untersucht, ob genderspezifische Unterschiede in den Leistungen auftreten.

3. Fragestellung

Betrachtet man die bisherige Forschung, so stellen sich die folgenden Fragen in Bezug auf diese Untersuchung:

1. Wie wirkt sich AR auf die schulische Selbstwirksamkeit, Motivation und Wissen aus, wenn AR bei der Einführung in das Schalenmodell verwendet wird?
2. Welche Auswirkungen hat die AR beim Wissenserwerb im Speziellen bei 3D-Darstellungen?
3. Gibt es geschlechterspezifische Unterschiede?

Dementsprechend wurden die folgenden fünf Hypothesen aufgestellt, die es zu überprüfen gilt:

- H1: Unterrichtseinheiten mit interaktiver AR erhöhen die Motivation im Vergleich zur interaktiven Arbeit mit einem Tablet oder mit traditionellen Lernmaterialien
- H2: Unterrichtseinheiten mit interaktiver AR erhöhen die Selbstwirksamkeit im Vergleich zur interaktiven Arbeit mit einem Tablet oder mit traditionellen Lernmaterialien
- H3: Unterrichtseinheiten mit interaktiver AR erhöhen die Leistung im Lernleistungstest im Vergleich zur interaktiven Arbeit mit einem Tablet oder mit traditionellen Lernmaterialien
- H4: Unterrichtseinheiten mit interaktiver AR oder dem Tablet verbessern die dreidimensionale Vorstellung vom Schalenmodell
- H5: Es sind geschlechterspezifische Unterschiede in den genannten Variablen messbar

4. Methode und Stichprobe

4.1 Die verwendete AR

Verwendet wurde die App „CoSpaces“, welche kostenlos auf Smartphones oder Tablets (iOS oder Android) installiert werden kann. Für den Einsatz der MergeCubes ist es jedoch erforderlich, dass die Geräte über eine Kamera auf der Rückseite verfügen und Zugang zum Internet (WLAN) haben. In der App CoSpaces wurde die verwendete Lernumgebung unter dem Suchbegriff „Schalenmodell“ kostenlos abgerufen. Nach dem Betätigen des Buttons „Play“ sieht man auf dem Bildschirm das Kamerabild der Umgebung mit einem eingeblendeten Quader. An dieser Stelle haben Nutzer*innen zwei Möglichkeiten, auf Grundlage derer die Experimentalgruppen eingeteilt wurden. Erstens, die Nutzer*innen bringen den MergeCube in den Bereich der Kamera und das digitale Endgerät kann den Trigger erfassen und projiziert die ersten 18 Elemente des Periodensystems darauf (Experimentalgrup-

pe 2). Zweitens kann der Ausschnitt des Periodensystems auf der Anzeige ohne die Verwendung eines MergeCubes durch Antippen eines Symbols (blauer Kreis rechts unten) erfolgen (Experimentalgruppe 1).

Die Experimentalgruppe 1 (EG 1) hatte keine MergeCubes zur Verfügung. Auf dem Startbildschirm sahen die Schüler*innen den Ausschnitt der ersten achtzehn Elemente im Periodensystem. Über eine Sprechblase erhielten sie die Information, dass das Antippen eines Elements das entsprechende Schalenmodell öffnet. Dort sieht man nun das Element in einer dreidimensionalen Darstellung in einem schwarzen Kubus. Dieser lässt sich mit den Fingern auf dem Display drehen, vergrößern, verkleinern und die Nutzer*innen bekommen durch Tippen auf das Modell für die ausgewählte Stelle Informationen, zum Beispiel zum Kern oder den Schalen. Am unteren Rand befinden sich drei Schaltflächen (K-Schale, L-Schale und 2D-Ansicht). Beim Antippen dieser Schaltflächen können einzelne Schalen aus- und wieder eingeblendet werden und die Ansicht von 2D in 3D und zurück geändert werden.

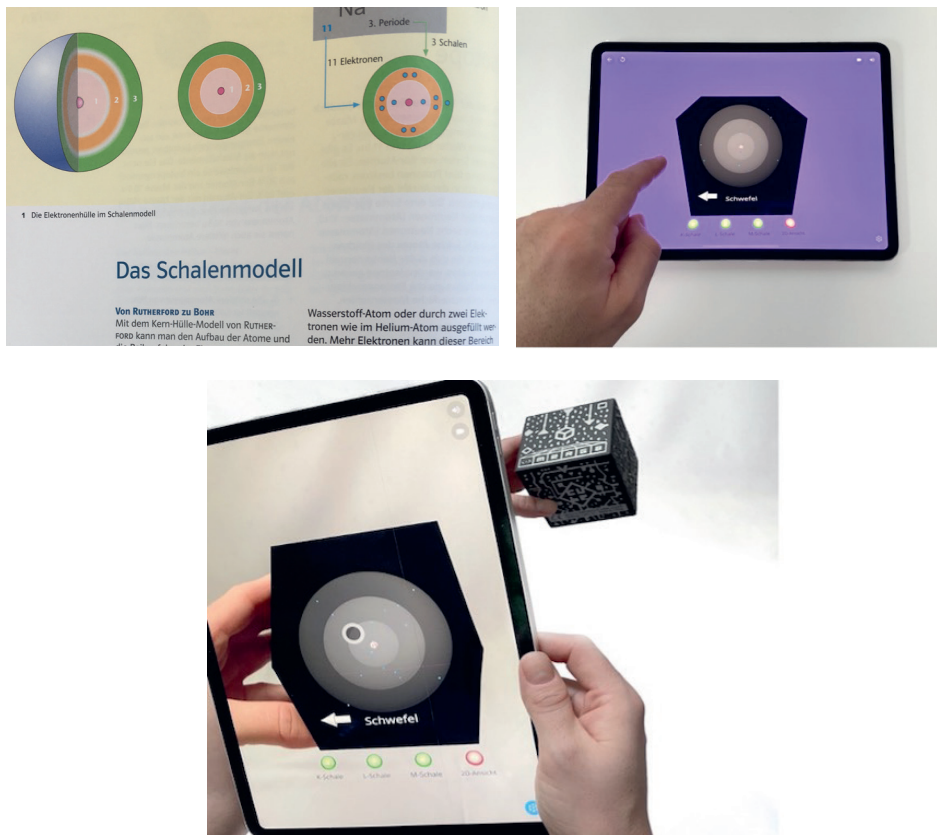


Abbildung 1: Die verwendeten Lernmaterialien v.l.n.r.: Schulbuch (Kontrollgruppe), Tablet mit Animation (Experimentalgruppe 1), Tablet mit MergeCube (Experimentalgruppe 2)

Die Experimentalgruppe 2 (EG 2) hatte MergeCubes als Tangible zur Verfügung. Über den MergeCube lässt sich die Animation in alle Richtungen drehen, wodurch zusätzlich zu den Funktionalitäten, welche der EG 1 zur Verfügung standen, eine haptische Komponente hinzukam. In der Mitte des Bildschirms ist ein Kreis zu sehen, mit welchem die Auswahl der Elemente und der Bestandteile im Modell getätigt werden kann. Wird dieser Kreis auf eine beliebige Stelle bewegt, kann auf eine beliebige Stelle des Touchscreens gedrückt werden, um die Auswahl zu bestätigen. Alle anderen Funktionen sind gleich wie bei der Darstellung auf dem Tablet ohne MergeCube. Die Lernenden der Experimentalgruppen bekamen eine etwa zehnminütige Einführung in die App und die interaktiven Möglichkeiten des Modells.

Die Kontrollgruppe (KG) wurde mit den üblichen Medien wie Schulbuch, Folien, Tafelanschrieb und einem Video unterrichtet. Bei der Auswahl des Schulbuches (Prisma Chemie 9/10, Ernst Klett Verlag) wurde Wert darauf gelegt, dass eine 3D-Darstellung des Schalenmodells wenigstens in Ansätzen vorhanden ist, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Alle drei Gruppen hatten bereits zuvor mit Tablets im Unterricht gearbeitet und sind den Einsatz und Umgang mit diesem Medium nicht nur im Fach Chemie gewohnt.

Die Studie wurde in drei neunten Klassen mit $N = 60$ Teilnehmer*innen ($m = 34$, $w = 26$) an einer Realschule in Baden-Württemberg durchgeführt. Eine Klasse ($n = 17$) diente als Kontrollgruppe (KG), eine weitere Klasse ($n = 22$) als EG 1 mit Tablets und die weitere Klasse ($n = 21$) als EG 2 mit Tablets und MergeCubes. Alle Klassen werden von der gleichen Lehrperson innerhalb der regulären Schulstunde unterrichtet und sind in ihrer Heterogenität vergleichbar. Alle drei Gruppen füllten zu Beginn der Untersuchung Fragebögen zu Motivation, schulischer Selbstwirksamkeitserwartung aus und beantworteten Fragen eines Lernleistungstests zu den Inhalten der folgenden Unterrichtsstunden. Nach drei Wochen Unterricht (sechs Unterrichtsstunden) beantworteten die Lernenden die gleichen Fragebögen zu Motivation, schulischer Selbstwirksamkeit und den Lernleistungstest erneut. Der zweite Lernleistungstest wurde als Test benotet, worüber die Lernenden in Kenntnis gesetzt wurden.

4.2 Fragebogen Motivation

Motivation lässt sich nicht direkt beobachten (Schunk, Pintrich & Meece, 2002), sondern nur aus den Handlungen oder Aussagen von Personen erschließen. Bei Vorliegen intrinsischer Motivation rührt die Belohnung zur Aufrechterhaltung der Handlung aus der Tätigkeit selbst (Schiefele & Köller 2006), die als interessant, spannend und herausfordernd erlebt wird. In der Literatur finden sich verschiedene Messinstrumente, um die Motivation zu erheben. Auf Basis des Intrinsic Motivation Inventory (IMI) (Deci & Ryan, 2002) wurde die Kurzskaala intrinsi-

sche Motivation (KIM) im deutschsprachigen Raum etabliert. Sie wurde in dieser Studie dafür verwendet, um vier Bereiche intrinsischer Motivation anhand von zwölf Items zu messen: Interesse/Vergnügen (interest/enjoyment), wahrgenommene Kompetenz (perceived competence), wahrgenommene Wahlfreiheit (perceived choice) und Druck/Anspannung (pressure/tension). Der Fragebogen wurde mit vier möglichen Antwortmöglichkeiten (1 stimmt nicht, 2 stimmt kaum, 3 stimmt eher und 4 stimmt genau) angelegt. Der individuelle Testwert für die Faktoren ergibt sich aus dem Aufsummieren der zugehörigen 3 Items, sodass je Faktor ein Score von 4–12 Punkten erreicht werden kann. Die Items zum Bereich Druck/Anspannung wurden umgepolt, da geringe Werte in diesem Bereich positiv hinsichtlich intrinsischer Motivation sind. Somit konnte ein Score für die Motivation von 12–48 Punkten erreicht werden.

4.3 Schulische Selbstwirksamkeit

Die wahrgenommene Selbstwirksamkeit (SW) von Lernenden beeinflusst deren Erwerb von Fähigkeiten auf sowohl direkte als auch indirekte Weise (Zimmermann, 1995). So trägt die wahrgenommene SW zur Motivation bei (Bandura & Cervone, 1986). Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) kann auch indirekt durch die Gestaltung von Lernumgebungen gefördert werden (Friedrich & Mandel, 1997). Dabei soll diese die Schüler zur Selbststeuerung anregen bzw. diese einfordern. Für die Fragebogenentwicklung zur Messung der SWE wurde der Fragebogen zur schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung (WIRKSCHUL) (Jerusalem & Satow, 1999) adaptiert. Der Fragebogen beinhaltet sieben Items, wie z. B. „Es fällt mir leicht, neuen Unterrichtsstoff zu verstehen“. Der Fragebogen wurde mit vier möglichen Antwortmöglichkeiten (1 stimmt nicht, 2 stimmt kaum, 3 stimmt eher und 4 stimmt genau) angelegt. Das Item fünf „Wenn der Lehrende das Tempo noch weiter anzieht, werde ich die geforderten Leistungen kaum noch schaffen können“ wurde umgepolt, da an dieser Stelle geringe Werte positiv hinsichtlich der SWE sind. Somit konnte für die schulische SWE ein Score von 7–28 Punkten erreicht werden.

4.4 Lernleistungstest

Der Fragebogen zur Lernleistung umfasst sieben Items. Die Lernenden wurden aufgefordert, Elektronen den Schalen zu zuordnen, Atome nach dem Schalenmodell auf Papier zu zeichnen, das Atommodell dreidimensional zu beschreiben und zu zeichnen und die Valenzelektronen von Atomen anzugeben. In diesem Test konnten 0–15 Punkte erreicht werden. Diese wurden nach Noten ausgewertet.

5. Auswertung der Ergebnisse

5.1 Motivation

Die Ergebnisse des Motivationstests zeigen einen klaren Vorteil für die Experimentalgruppen 1 und 2. Beide Gruppen konnten ihre Ergebnisse aus dem Vortest deutlich steigern. Die EG 1, welche mit den Tablets gearbeitet hat, steigerte sich noch deutlicher als die EG 2, die zusätzlich noch die MergeCubes verwendete. Jedoch waren die Ergebnisse im Vortest unterschiedlich. Die EG 1 hatte einen deutlich geringeren Ausgangswert als die EG 2, was eine größere Steigerung im Nachtest erleichtert. Die Kontrollgruppe blieb bei der Messung der Motivation auf gleichem Niveau im Vortest zum Nachtest (EG 1: $F = 16.196$, $p < .001^{***}$, $\eta^2 = .221$ / EG 2: $F = 5.677$, $p = .021^*$, $\eta^2 = .091$). Nur in den Experimentalgruppen stieg die Motivation signifikant an. EG 1 zeigte hier hochsignifikante Verbesserungen der Motivation. Hypothese H1 konnte somit bestätigt werden.

5.2 Schulische Selbstwirksamkeit

Bei der Testung zur schulischen Selbstwirksamkeitserwartung konnte sich nur die EG 1 steigern (EG 1: $F = 3.590$, $p = .034^*$, $\eta^2 = .112$). KG verschlechterte sich vom Vor- zum Nachtest geringfügig. Auch in der EG 2 mit den MergeCubes war eine sehr geringe Verschlechterung der Werte im Vor- zum Nachtest messbar. Diese Gruppe hatte allerdings auch in diesem Bereich sehr hohe Werte im Vortest angegeben, was eine Verbesserung kaum möglich machte. Die Hypothese H2 konnte somit nicht bestätigt werden.

5.3 Lernleistungstest

Bei der Korrektur des Kognitionstests erreichte die KG eine Klassendurchschnittsnote von 4.43. EG 1, die mit den Tablets gearbeitet hatte, kam auf eine Klassendurchschnittsnote von 3.16 und EG 2, die mit den MergeCubes gearbeitet hatte, erreichte eine Klassendurchschnittsnote von 2.27. Die Hypothese H3 wurde somit bestätigt.

5.4 Auswirkungen bei 3D-Darstellungen

Die beiden Experimentalgruppen konnten sich in Bezug auf die Fragen zu den dreidimensionalen Aufgaben signifikant steigern. Die Kontrollgruppe unterschied sich in diesem Bereich deutlich und wies keinen messbaren Lernzuwachs im Bereich der räumlichen Vorstellung des Modells auf (EG 1: $F = 23.274$, $p < .000^{***}$,

$\eta^2 = .290$ / EG 2: $F = 62.978$, $p < .000^{***}$, $\eta^2 = .525$). Die Hypothese H4 konnte somit bestätigt werden.

5.5 Geschlechterdifferenzen

Bei einer Auswertung nach Geschlecht konnten in den Bereichen (Motivation, Wissenszuwachs und Dreidimensionale Darstellung) in den verschiedenen Gruppen keine Unterschiede festgestellt werden. Lediglich für die Selbstwirksamkeitserwartung wurde der Interaktionseffekt zwischen Gruppe, Geschlecht und Messzeitpunkt signifikant ($F(2, 54) = 3.26$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .11$). Kontraste wurden nicht signifikant, jedoch zeigte sich deskriptiv ein Zuwachs an SWE nur für die Mädchen in EG 1 um 4 Punkte (von 16.1 auf 20.1). Alle anderen Gruppen konnten lediglich numerische Veränderungen zwischen 0.42 bis 1.8 verzeichnen. Hypothese H5 konnte somit nicht bestätigt werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Studie wurde untersucht, wie sich AR auf die schulische Selbstwirksamkeit, Motivation und Wissenszuwachs auswirkt, wenn AR bei der Einführung des Schalenmodells verwendet wird. Nach dem eingangs erwähnten Forschungsstand wurde angenommen, dass AR einen positiven Einfluss auf die drei genannten Faktoren hat. Die Animation und die AR wirkten sich positiv sowohl auf die Motivation als auch auf den Wissenszuwachs aus.

Die schulische Selbstwirksamkeitserwartung konnte nur bei der EG 1 mit der Animation signifikant gesteigert werden. Die EG 2 (MergeCube) hatte bereits im Pretest sehr hohe Werte. Dies kann dazu geführt haben, dass diese Gruppe ihre Ergebnisse nicht deutlich steigern konnte. Die Gruppen unterschieden sich jedoch nicht grundsätzlich signifikant voneinander.

Alle Gruppen (KG, EG 1 & EG 2) profitierten vom Unterricht, allerdings sind die Effekte deutlich verschieden. EG 2 steigerte ihren Score am stärksten, gefolgt von EG 1.

Den geringsten Zuwachs an Wissen verzeichnete die Kontrollgruppe mit dem traditionellen Unterricht. Das zeigt, dass der Einsatz von AR einen Mehrwert in den Bereichen Motivation, schulische Selbstwirksamkeitserwartung und Wissen im Vergleich zu traditionellen Lehrmethoden für die Lernenden im Chemieunterricht bringen kann.

Ferner wurden auch die Auswirkungen von AR beim Wissenserwerb im Speziellen bei 3D-Darstellungen untersucht. Bei den Fragen im Lernleistungstest zu den 3D-Darstellungen und Vorstellungen der Lernenden ist das Ergebnis eindeutig. Die EG 2 mit AR zeigte in diesem Bereich den größten Zuwachs. Auch die

EG 1 mit der Animation hat einen beachtlichen Zuwachs an Wissen in diesem Bereich erzielt. Der Unterschied zwischen der Animation am Tablet und der AR mit der MergeCube-Darstellung bestand darin, dass mit dem MergeCube zusätzlich der haptische Sinn angesprochen wurde und mit einer alltagsnahen Motorik interagiert werden konnte. Die Interaktion ist somit bewegungskompatibel. Bewegungskompatibilität hat einen positiven Effekt auf die Nutzerfreundlichkeit in VR-Systemen (Lukas, Brau & Koch, 2010). Es wird vermutet, dass sich dies auch auf AR-Anwendungen übertragen lässt. Nutzerfreundliche Systeme beanspruchen weniger kognitive Ressourcen, welche dann für Lernprozesse zur Verfügung stehen können. Die Kontrollgruppe konnte sich in diesem 3D-Bereich nicht verbessern.

Zuletzt wurde untersucht, ob es Geschlechterdifferenzen bei der Verwendung der Lehr-Lernumgebung gibt. Geschlechterdifferenzen, wie sie beispielsweise von Habig (2019) berichtet werden, konnten in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Lediglich in der Gruppe mit der interaktiven Animation am Tablet wiesen die Mädchen einen größeren Zuwachs an Selbstwirksamkeitserwartung auf als in der Kontrollgruppe und der Gruppe mit den MergeCubes. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Daten von Habig (2019), der von einer Verbesserung beim Lernen mit AR für die männlichen Teilnehmenden ausgeht. Ob es tatsächliche Geschlechtereffekte hinsichtlich der Anwendung mit AR gibt, kann derzeit noch nicht klar statuiert werden. Hier bedarf es weiterer systematischer Forschung.

Der Einsatz von AR-Anwendungen scheint im Chemieunterricht vielversprechend und sinnvoll zu sein. Er bringt den Lernenden einen Mehrwert, z. B. wenn es um Lerninhalte aus dem submikroskopischen Bereich geht. Lernende haben mit der Unterstützung durch AR die Möglichkeit der Interaktion mit dem Modell. Sie können einzelne Schritte so oft wiederholen und neue Hypothesen bilden, wie sie möchten und die Erschließung des Lerngegenstands dadurch an ihr jeweils individuelles Lerntempo anpassen.

Literatur

- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R. & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.
- Bandura, A. & Cervone, D. (1986). Differential Engagement of Self-Reactive Influences in Cognitive Motivation. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 38(1), 92–113. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(86\)90028-2](https://doi.org/10.1016/0749-5978(86)90028-2)
- Bindernagel, J. A. & Eilks, I. (2009). Evaluating roadmaps to portray and develop chemistry teachers' PCK about curricular structures concerning sub-microscopic models. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10(2), 77–85. <https://doi.org/10.1039/b908245j>

- Cai, S., Liu, E., Yang, Y. & Liang, J.-C. (2019). Tablet-based AR technology: Impacts on students' conceptions and approaches to learning mathematics according to their self-efficacy. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 248–263.
- Chang, R.-C. & Yu, Z.-S. (2018). Using Augmented Reality Technologies to Enhance Students' Engagement and Achievement in Science Laboratories. *International Journal of Distance Education Technologies*, 16(4), 54–72. <https://doi.org/10.4018/IJDET.2018.100104>
- Cheng, K.-H. & Tsai, C.-C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning. Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 446–449.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (Hrsg.) (2002). *Handbook of self-determination research*. Rochester: University of Rochester.
- Eickelmann, B., Bos, W. & Labusch, A. (2019). Die Studie ICILs 2018 im Überblick. Zentrale Ergebnisse und mögliche Entwicklungsperspektiven. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILs 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 7–31). Münster: Waxmann.
- Friedrich, H. F. & Mandel, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert & H. Mandel, *Psychologie der Erwachsenenbildung* (S. 237–296). Göttingen: Hogrefe.
- Habig, S. (2019). Who can benefit from augmented reality in chemistry? Sex differences in solving stereochemistry problems using augmented reality. *British Journal of Education Technology*, 51(3), 629–644.
- Huwer, J., Lauer, L., Seibert, J., Thyssen, C., Dörrenbächer-Ulrich, L. & Perels, F. (2018). Re-Experiencing Chemistry with Augmented Reality: New Possibilities for Individual Support. *WJCE*, 6(5), 212–217. <https://doi.org/10.12691/wjce-6-5-2>
- Huwer, J. & Banerji, A. (2020). Corona sei Dank?! – Digitalisierung im Chemieunterricht. *ChemKon*, 27(3), 105–106. <https://doi.org/10.1002/ckon.202000037>
- Jerusalem, M. & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen* (S. 15–16). Berlin: Freie Universität Berlin
- Lukas, S., Brau, H. & Koch, I. (2010). Anticipatory movement compatibility for virtual reality interaction devices. *Behaviour & Information Technology*, 29, 165–174. <https://doi.org/10.1080/01449290902765191>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.), *SPIE Proceedings, Telemanipulator and Telepresence Technologies* (S. 282–292). <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Probst, C., Lukas, S. & Huwer, J. (2020). COVID19: Distance learning in times of crisis. Digital technologies and resources for learning under lockdown: Promoting homeschooling in chemistry education with augmented reality. *iCERi Proceedings 2020, 2023–2031*. <https://doi.org/10.21125/iceri.2020.0496>
- Probst, C. & Huwer, J. (2020). Self-Regulation and Training of Students with Learning Disabilities in an Inclusive Setting using ICT. *World Journal of Chemical Education*, 8(1), 47–51. <https://doi.org/10.12691/wjce-8-1-6>
- Salmi, H., Thuneberg, H. & Vainikainen, M.-P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 253–268. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1254358>

- Schiefele, U. & Köller, O. (2006). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 303–310). Weinheim: Beltz.
- Schunk, D., Pintrich, P. & Meece, J. (2002). *Motivation in Education: Theory, research and applications*. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Merrill.
- Seibert, J., Luxenburger-Becker, H., Marquardt, M., Lang, V., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C. (2020a). Multitouch Experiment Instruction for better outcome in Chemistry Education. *World Journal of Chemical Education*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.12691/wjce-8-1-1>
- Seibert, J., Marquardt, M., Lang, V., Kay, C. & Huwer, J. (2020b). Reale und digitale Inhalte verknüpfen – Den Aufbau eines Lithium-Ionen-Akkus mit Augmented Reality verstehen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 177/178, 86–91.
- Thyssen, C., Hoffmann, C., Probst, C. & Huwer, J. (2020). Augmented Reality – unterrichten mit erweiterter Realität. *Unterricht Biologie*, 455, 41–44.
- Zimmermann, B. J. (1995). *Self-efficacy and educational development*. In A. Bandura (Hrsg.), *Self-efficacy in Changing Societies* (S. 202–231). Cambridge: Cambridge University Press.

#medialab@home: Online-Fortbildungsreihe zum Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht

1. Einleitung

Als im Zuge der COVID-19-Krise von der Bundesregierung der erste Lockdown beschlossen wurde, standen Schulen vor der großen Herausforderung, das Unterrichtsgeschehen in einen Distanzunterricht zu überführen. Bei dieser Umstellung von Präsenzunterricht auf digitale Lernsettings offenbarte sich der bundesweite Flickenteppich in der technischen Infrastruktur und Ausstattung von Schulen. So zeigen repräsentative Studien, die im Zuge der Schulschließungen durchgeführt wurden, dass nur wenige Schulen technologisch auf einen Distanzunterricht vorbereitet waren (Eickelmann & Drossel, 2020). Des Weiteren schätzten zwar Lehrkräfte ihr Kollegium als mittelmäßig kompetent im Umgang mit digitalen Medien ein. Die Hälfte der Lehrkräfte gab jedoch an, dass es ihnen nicht leicht gefallen sei, digitale Lernformate zu gestalten (Huber et al., 2020). Diese Ergebnisse zeigen, dass neben einem klaren Bedarf an digitaler Ausstattung von Schulen und Akteur*innen auch aus Sicht der Lehrkräfte ein Bedarf an Weiterbildungsangeboten, insbesondere zur Medienproduktionskompetenz, besteht.

2. Medienbezogene Kompetenzprofile für die Lehrkräftebildung

Aufgrund der sich verändernden gesellschaftlichen Anforderungen in einer digitalisierten Welt ergeben sich für Lehrkräfte neue Aufgabenspektren, damit Lernen vermittelt wird, wie digitale Medien zielgerichtet, kritisch reflektierend und sozial verantwortlich verwendet werden. Daher enthalten überfachliche Kompetenzprofile wie die Strategie der Kultusministerkonferenz *„Bildung in der digitalen Welt“* von 2016 (Kultusministerkonferenz [KMK], 2017) oder der Europäische Rahmen für Digitale Kompetenzen von Lehrenden (*DigCompEdu*) von 2017 (European Commission, 2017) verschiedene Kompetenzbereiche mit jeweiligen Teilkompetenzen, über die Lehrkräfte für eine Ausschöpfung des Potentials digitaler Medien verfügen sollten. Ein wichtiger Bestandteil dieser Kompetenzprofile ist hierbei die Medienproduktion. Auch in fachlichen, medienbezogenen Kompetenzprofilen wie der Kompetenzrahmen *„Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)“* (2020) ist die Medienproduktion in den Kompetenzbeschreibungen integriert (siehe Keynote-Beitrag des Tagungsbandes).

Die in den genannten Kompetenzprofilen festgelegten Kompetenzbeschreibungen sind für die Gestaltung von Lehrinhalten in allen Phasen der Lehrkräfte(aus)

bildung grundlegend und so wurde die Vermittlung digitalisierungsbezogener Inhalte an Universitäten sowie Studienseminaren bereits verankert. Dieser Schritt ist entscheidend, da neben der Stärkung von Medienkompetenzen von Lehrkräften die Verankerung des Kompetenzerwerbs in allen drei Phasen der Lehrkräftebildung ein entscheidender Prädiktor für den Einsatz digitaler Medien im Unterricht ist (Eickelmann, Schaumburg, Drossel & Lorenz, 2014). Eine zentrale Rolle nehmen Lehrkräftefortbildungen ein, da sich einerseits Lehrkräfte nachqualifizieren können, die in ihrer Ausbildung keine oder nur wenig Möglichkeiten zum Medienkompetenzerwerb hatten. Andererseits können erfahrene Lehrkräfte ihre bereits vorhandenen Kompetenzen vertiefen und hinsichtlich ihres eigenen Unterrichts ausschärfen.

3. #medialab@home: Konzept und Umsetzung

Um Lehrkräfte im Lockdown bei der Planung und Umsetzung digitaler Lernsettings für den Chemieunterricht zu unterstützen, wurde von April bis Juli 2020 eine Online-Lehrkräftefortbildungsreihe #medialab@home zur Produktion eigener digitaler Medienformate für den Chemieunterricht durchgeführt. Der Fokus lag auf der Gestaltung digitaler Ressourcen, wobei auch Impulse für mögliche Unterrichtssettings eingeführt und Einsatzszenarien diskutiert wurden. Für die Konzeption der einzelnen Sitzungen mit dem Ziel der Stärkung der fachbezogenen Medienproduktionskompetenzen war das *TPACK-Modell* (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) zu mediendidaktischen Kompetenzen von Lehrkräften von Mishra und Koehler grundlegend. Nach dem Modell sollen die drei Wissens- und Kompetenzbereiche, *Content Knowledge* (CK), *Pedagogical Knowledge* (PK) und *Technological Knowledge* (TK), nicht isoliert betrachtet werden, sondern erst durch ihre Verzahnung kann das fachdidaktische und fachliche Potential beim Einsatz digitaler Medien im Unterricht ausgeschöpft werden (Mishra & Koehler, 2006). Die Basis für die Sitzungsgestaltung ist die Vermittlung von technischem Wissen zur Medienproduktion (TK). Hierbei knüpft die Dozentin an das fachliche und pädagogische Wissen (CK/PK) der Lehrkräfte an. Durch die gemeinsame Diskussion zwischen der Dozentin und den Lehrkräften sowie durch den Austausch zwischen den Lehrkräften soll eine Verknüpfung der Kompetenzbereiche ermöglicht werden, sodass ein fundiertes Professionswissen zur Medienproduktion aufgebaut werden kann.

Für die Lehrkräftefortbildungsreihe wurden 90-minütige Sitzungen umgesetzt, die sich jeweils der Entwicklung eines digitalen Medienformats (z. B. E-Books oder Animationen) mit Blick auf den Chemieunterricht widmeten. Von der Dozentin wurde aufgrund verschiedener Kriterien bereits im Vorfeld eine Auswahl an erprobten Programmen und Apps auf ein einzelnes Tool reduziert. Die zwei wichtigsten Kriterien für die Auswahl des Programms waren, dass das Tool kos-

tenlos downloadbar ist oder eine kostenlose Basisversion mit hoher Funktionalität vorliegt sowie dass es betriebssystemunabhängig genutzt werden kann. Da sowohl Lehrkräfte als auch Lernende im sogenannten „Homeschooling“-Modus auf ihre eigenen Geräte zurückgreifen mussten, sollten im Distanzunterricht trotz Heterogenität der Betriebssysteme beim Einsatz des gewählten Tools keine Nachteile entstehen. Aufgrund der kurzen Zeitdauer des Workshops war ein weiteres Kriterium für die Auswahl, dass eine intuitive oder leicht zu erlernende Nutzung der Software durch eine reduzierte Bedienungsfläche möglich ist. Damit das ausgewählte Tool auch von Lernenden unbedenklich genutzt werden kann, war auch wichtig, dass keine offensive Werbung den Gestaltungsprozess erschwert und im besten Fall durch die Nutzung der Software oder des Endprodukts keine Anmeldung erfolgen muss.

Tabelle 1: Medienformate sowie vorgestellte Software in der Lehrkräftefortbildungsreihe

Inhalt	Vorgestellte Software
E-Book	BookCreator (webbasiert oder als App für iOS)
Videoschnitt	InShot (Android & iOS)
Animationen	FlipaClip (Android & iOS)/Animation Desk (Windows, iOS, Android)
Digitales Zeichnen	Inkscape (Window, iOS, Linux)
Gesprächsrunde: von der Theorie in die Praxis	Verschiedene Apps für den Chemieunterricht und kostenlose Programme für kooperatives Arbeiten

Für die Fortbildungsreihe sind zunächst zwei Fortbildungstermine inhaltlich ausgearbeitet worden: die Gestaltung von interaktiven E-Books und die Umsetzung von Videoschnitt bei Versuchsvideos. Für die weiteren Sitzungsthemen wurde nach jedem Workshop eine Befragung durchgeführt, sodass die folgenden Termine an die Bedürfnisse der teilnehmenden Lehrkräfte adaptiert werden konnten. Deshalb wurden als Nachfolgetermine die Gestaltung einfacher Animationen und das digitale Zeichnen in den Blick genommen sowie eine Gesprächsrunde für den kollegialen Austausch mit Blick auf Erfahrungen aus dem Distanzunterricht umgesetzt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die fünf Sitzungsthemen der Lehrkräftefortbildungsreihe #medialab@home, an der insgesamt 23 Chemie-Lehrkräfte aus Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg teilgenommen haben. Unter den Teilnehmenden gab es drei Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst.

Die Gliederung der Sitzungen von #medialab@home erfolgte in vier Schritten. Die Lehrkräfte sollten zunächst einen Überblick über Vor- und Nachteile einer Auswahl an kostenlosen und kostenpflichtigen Programmen für das jeweilige Medium erhalten. Danach wurden auf Grundlage empirischer Befunde Kriterien für eine lernwirksame Gestaltung des entsprechenden Medienformats (z. B. zum Thema Animationen (Lowe & Ploetzner, 2017)) vorgestellt und deren Umsetzungsmöglichkeiten mit der ausgewählten Software erörtert. Daran wurde eine Diskussion über die Einsatzmöglichkeiten für diese Medienformate angeschlossen, bei

der sich die Lehrkräfte untereinander über eigene Erfahrungen austauschen und sich mit Blick auf den Chemieunterricht Perspektiven für den Einsatz des Medienformats erschließen konnten. Der Schwerpunkt der Sitzung lag letztlich auf der Erstellung eines eigenen Mediums für den Chemieunterricht auf Grundlage eines Inputs der Dozentin. Durch die eigene Produktion sollten Lehrkräfte Berührungsängste überwinden und zur Erstellung eigener digitalen Ressourcen motiviert werden. Dabei waren auch Ziele der praktischen Erprobung, dass die Lehrkräfte in die Lage versetzt werden, Lernende bei der eigenen Medienproduktion zu begleiten und Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz eines Programms für ihre Unterrichtsstunde auszuloten. Die Aktivierung der Lehrkräfte zur Medienproduktion ist deshalb ein zentraler Schritt, da sie es sind, die bei der Implementation von digitalen Medien im schulischen Kontext eine zentrale Rolle einnehmen. Sie allein bestimmen über den Zweck und die Häufigkeit des Einsatzes in ihrem eigenen Unterricht (OECD, 2016).

4. Selbsteinschätzung der Lehrkräfte zu den eigenen Medienkompetenzen

An der Befragung haben alle Lehrkräfte der Fortbildungsreihe im Anschluss der Sitzungen (n = 23) teilgenommen, wobei nur n = 21 den Fragebogen komplett abgeschlossen haben. Unter den Teilnehmenden waren 12 weibliche und 11 männliche Lehrkräfte. Siebzehn Lehrkräfte arbeiten an Gymnasien, fünf an Gesamtschulen und eine Lehrkraft an einer gymnasialen Oberstufe. An dieser Stelle wird das Ergebnis der Selbsteinschätzung der Lehrkräfte anhand des Medienkompetenzrahmens von Nordrhein-Westfalen (Medienberatung NRW, 2020) ausführlicher vorgestellt.

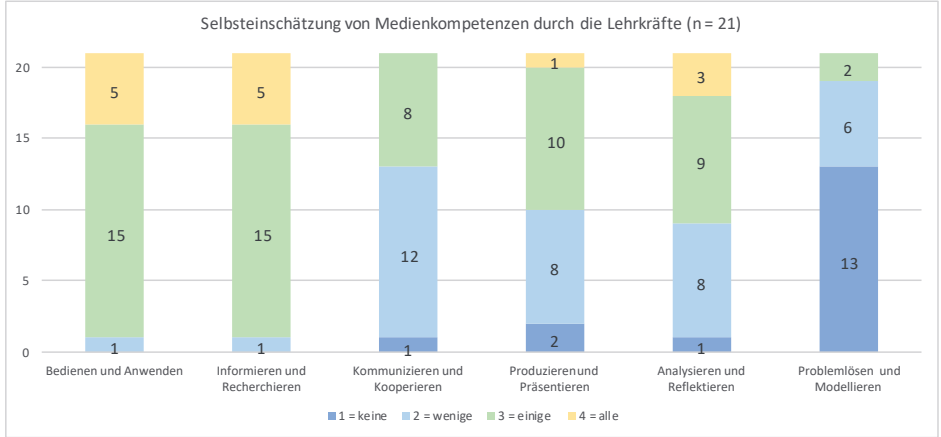


Abbildung 1: Anzahl der Lehrkräfte bei der Selbsteinschätzung eigener Medienkompetenzen anhand der Kompetenzbereiche des Medienkompetenzrahmens Nordrhein-Westfalen

Wie in Abbildung 1 deutlich wird, schätzen sich die Befragten in den Kompetenzbereichen *Bedienen & Anwenden* sowie *Informieren & Recherchieren* am kompetentesten ein. Im Kontrast dazu sehen sich die Lehrkräfte im Kompetenzbereich *Problemlösen & Modellieren*, mit dem die informatische Grundbildung als Bestandteil der Schulausbildung verankert wird, als am wenigsten kompetent. Bei den weiteren drei Kompetenzbereichen teilt sich die Gruppe hinsichtlich ihrer Einschätzung: Während in den Bereichen *Analysieren & Reflektieren* (42,9 %) und *Produzieren & Präsentieren* (47,6 %) weniger als die Hälfte der Befragten angab, keine oder wenige Kompetenzen zu besitzen, erhöht sich beim Bereich *Kommunizieren & Kooperieren* diese Tendenz auf 61,9 %. Die Ergebnisse der Selbsteinschätzung der teilnehmenden Lehrkräfte zeigt, dass in diesen Bereichen noch ein Bedarf an Nachqualifizierung vorliegt. Insbesondere die Bereiche *Kommunizieren & Kooperieren* sowie *Produzieren & Präsentieren* sind für einen sinnvollen Einsatz von digitalen Medien in allen Unterrichtsfächern grundlegend. An diesem Bedarf können Lehrkräftefortbildungen wie #medialab@home anknüpfen.

5. Fazit und Ausblick

Die vielversprechenden Ergebnisse der digitalen Lehrkräftefortbildungsreihe #medialab@home geben Anlass dafür, dass auch zukünftig dieses Format in der Chemiedidaktik Wuppertal angeboten wird. Dabei kann das vorgestellte Konzept ebenso eine Grundlage für andere Fachdidaktiken sein, Fortbildungen für die dritte Phase der Lehrkräfte(aus)bildung mit Blick auf die Stärkung der Medienproduktionskompetenz zu entwickeln und durchzuführen.

Um zusätzlich in der ersten Phase der Lehrkräfte(aus)bildung die Vermittlung und Stärkung digitalisierungsbezogener Kompetenzen angehender Chemie- und Sachunterrichtslehrkräfte zu etablieren, wurde von der Hauptautorin ein neues Modul für den Kombinatorischen Bachelor of Arts, einer der Lehramtsstudiengänge an der Universität Wuppertal, entwickelt. Das zweisemestriges Modul *Medialab* umfasst 6 LP und besteht aus drei Teilkomponenten: einem Grundlagenseminar, dem Anfertigen eines digitalen Werkstücks und der Umsetzung von Lehrkräftefortbildungen. Ziele des Moduls sind, dass die Studierenden ein Professionswissen für den Einsatz und die Produktion digitaler Medien im Chemie- bzw. Sachunterricht entwickeln und ihre Medienvermittlungskompetenzen durch die Durchführung der Lehrkräftefortbildungen stärken. Dabei ermöglicht die Verzahnung der drei Phasen der Lehrkräfte(aus)bildung, dass durch die teilnehmenden Lehrkräfte der Einsatz digitaler Medien Bestandteil schulischer Praxis wird.

Literatur

- Eickelmann, B. & Drossel, K. (2020). *SCHULE AUF DISTANZ. Perspektiven und Empfehlungen für den neuen Schulalltag: Eine repräsentative Befragung von Lehrkräften in Deutschland*. https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2020/05/Vodafone-Stiftung-Deutschland_Studie_Schule_auf_Distanz.pdf
- Eickelmann, B., Schaumburg, H., Drossel, K. & Lorenz, R. (2014). Schulische Nutzung von neuen Technologien in Deutschland im internationalen Vergleich. In K. Schwipert, B. Eickelmann, W. Bos, F. Goldhammer, H. Schaumburg & J. Gerick (Hrsg.), *ICILS 2013* (S. 197–229). Münster: Waxmann.
- European Commission (Hrsg.) (2017). *European framework for the digital competence of educators: Digcompedu*. Publications Office. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/european-framework-digital-competence-educators-digcompedu>
- Huber, S. G. et al. (2020). *COVID-19 und aktuelle Herausforderungen in Schule und Bildung: Erste Befunde des Schul-Barometers in Deutschland, Österreich und der Schweiz*. <https://www.waxmann.com/index.php?eID=download&buchnr=4216>
- Kultusministerkonferenz (2017). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- Lowe, R. & Ploetzner, R. (Hrsg.) (2017). *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application*. Cham: Springer.
- Medienberatung NRW (Hrsg.) (2020). *Medienkompetenzrahmen NRW*. Münster/Düsseldorf. https://medienkompetenzrahmen.nrw/fileadmin/pdf/LVR_ZMB_MKR_Broschuere.pdf
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- OECD (2016). *Innovating Education and Educating for Innovation: The Power of Digital Technologies and Skills*. Paris: OECD Publishing.

Visuelles Storytelling mit einem Hybrid aus analoger Paper-Cut-Out-Technik und digitaler Comic-Gestaltung im Lehramt Chemie

Nur noch wenige Menschen erhalten eine klassische Geburtstagskarte mit der Post. Es ist mittlerweile üblich, Grüße, versehen mit Emoticons und Memes, über Messenger zu versenden. Auch darüber freuen sich Menschen, wobei eine Postkarte etwas Besonderes bleibt. Werden zukünftig auch kopierte oder algorithmisch erzeugte, digital versendete Grußbotschaften als persönlich und wertschätzend aufgefasst werden? Darin dürften sich die Geister scheiden. Sicher ist: Die Digitalisierung verändert Gewohnheiten und Werte von Menschen. Ich nutze dieses Beispiel, um gleich zu Beginn meines Beitrags auf ein Charakteristikum von Digitalität hinzuweisen, dass Formen von Digitalisierung in ihren spezifischen Kontexten und in Hinsicht auf Entwicklungschancen und -hürden für Menschen reflektiert werden sollten (vgl. Stalder, 2017; Huwer, Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen, 2019). Zudem möchte ich vorab die Intention meines Lernsettings, das ich darlege, verständlich machen: Es wäre falsch, zu behaupten, dass digitale Formate des Lernens per se analogen Formaten überlegen sind. „Auch unter den Bedingungen der Digitalität verschwindet das Analoge nicht, sondern wird neu be- und teilweise sogar aufgewertet“ (Stalder, 2017, S. 18). Meine persönliche Meinung ist, dass in den Lehramtsstudiengängen Potenziale und Grenzen des Analogen und Digitalen an Exempeln erarbeitet werden sollten, um darüber ein Verständnis von Digitalität anzubahnen. In der Ausbildung angehender Lehrpersonen, mit der ich beauftragt bin, nutze ich hierfür ein Hybrid aus analoger Paper-Cut-Out-Technik und digitaler Sachcomic-Gestaltung als Reflexionsanlass und kombiniere es mit einer Einführung in das Storytelling, um die gesellschaftliche Dimension von Digitalität konkretisieren und damit besser fassbar machen zu können.

Eine Auswahl an Sachcomics, die Lehramtsstudierende mit der Paper-Cut-Out-Technik gestaltet haben, wurde auf der Webseite www.disensu.de veröffentlicht und ist dort abrufbar.

1. Cut-Out-Technik

Beim Cut-Out werden Formen zu Flachfiguren, Objekten und Hintergründen zusammengestellt, die Flachfiguren auf den Hintergründen bewegt und die gesamte Szenerie digital fotografiert. Durch geringfügige Veränderung der Formen, von Bild zu Bild, entsteht der Eindruck von Bewegung. Darauf beruht das Konzept des Legetrickfilms. Unterschieden werden digitaler und analoger Legetrick. Während

die digitale Technik rein computergeneriert ist, werden bei der analogen Technik ausgeschnittene Formen auf einer Arbeitsfläche manuell verschoben. Für das analoge Arbeiten eignen sich Formen aus Fotokarton, die in unterschiedlicher Skalierung zugeschnitten und mit Details bemalt werden können (Abb. 1a). Als Ersatz für eine Trickfilmproduktion bietet sich im Lehramtsstudium an Hochschulen die Gestaltung eines mehrseitigen Sachcomics mit der analogen Paper-Cut-Out-Technik an, denn diese Aufgabe ist innerhalb eines für die Hochschullehre realistischen Zeitrahmens umsetzbar. Trickfilmproduktionen können Studierende hingegen überfordern, da im Amateurbereich sechs und im Profibereich 18 Bilder pro Sekunde produziert werden müssen. Die Gestaltung eines Sachcomics mit der Paper-Cut-Out-Technik erfolgt in einem Legetrickstudio, das heißt auf einer ausgeleuchteten Arbeitsfläche, an der ein Stativ mit Digitalkamera befestigt ist (Abb. 1b). Die entsprechende Low-Cost-Variante besteht aus einem Karton und der Digitalkamera eines Mobiltelefons (vgl. Grasser, 2011, S. 25).

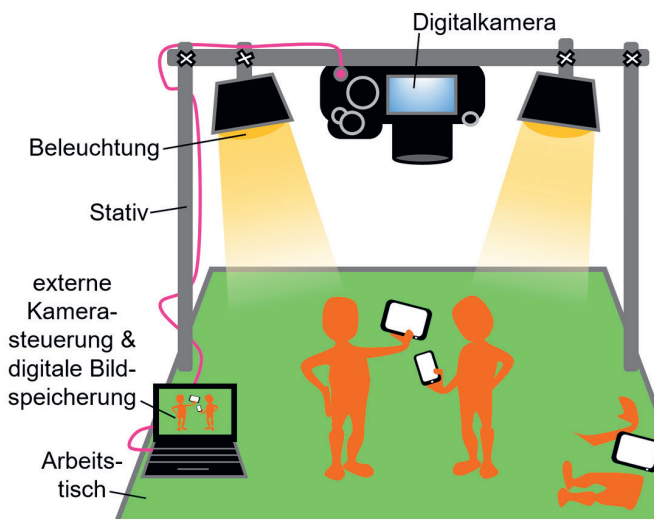


Abbildung 1:
(a) Sammlung von
Flachfiguren und
(b) Schema eines
Legetrickstudios

2. Mit analogen *und* digitalen Techniken Reflexionen über Digitalität anbahnen

Das analoge Vorgehen hat den Vorteil, dass die Studierenden zeitgleich und kollaborativ Bildersequenzen aufbauen und optimieren können, was digital nicht adäquat umsetzbar wäre, da die Steuerung über Maus oder Touchscreen nur von einer Person ausgeführt wird. Zudem bietet sich ihnen in der Reflexionsphase die Möglichkeit, die analoge mit der digitalen Technik vergleichen zu können. Am Vergleich machen die Studierenden Potenziale und Grenzen der Techniken und deren Einfluss auf den inhaltlichen Verlauf einer Geschichte fest. Bezogen auf die digitale Bildaufnahme (Abb. 2a) und die Bildverwertung mit einer Comicsoftware (Abb. 2b) betrifft dies Kenntnisse in Digitalfotografie, Datenmanagement und Design. Diese sind zu einem gewissen Grad intuitiv und autodidaktisch anhand von Erklärvideos erlernbar, jedoch vergleichsweise weniger intuitiv als die analoge Legetechnik. Die Frage, die sich dabei für die Lehrenden stellt, ist eine genuin didaktische: Wie viel Unterstützung braucht ein Lernprozess und in welchem Maße leisten analoge und digitale Lernbegleiter diese Unterstützung?

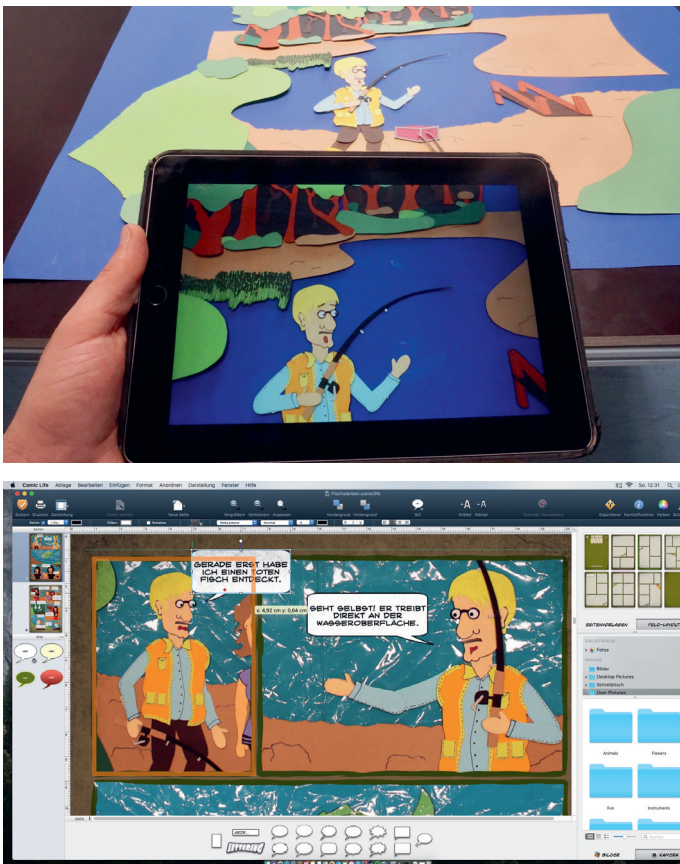


Abbildung 2:
(a) Kamerasteuerung
und (b) Bildverwertung
auf dem Tablet-Display

3. Storytelling

Storytelling ist mittlerweile ein Charakteristikum von Journalismus, Wissenschaftssendungen und Public Relations (Kellermann, 2018). Die Umsetzung erfolgt in Form von gesprochenen Worten, Texten, Bildern und Grafiken. Die Situated-Cognition-Bewegung (vgl. Reimann-Rothmeiner & Mandl, 2001), Erzähltheorien (vgl. Kubli, 2005) und das Konzept des Lernens im Kontext (vgl. Parchmann & Kuhn, 2018) verweisen auf den Nutzen von Storytelling für die Entwicklung von Interesse an Sachthemen und den Aufbau persönlicher Relevanz von Lernen bei Jugendlichen. Im Lehramt für die Naturwissenschaften hat das Storytelling seinen Platz (Heering, 2016; Klassen & Froese Klassen, 2014; Kokkotas & Kokkotas, 2014; Kubli, 2005), allerdings mit einem derzeit noch geringen Anteil an Visualisierungen. In NaWi-Kontexten bietet visuelles Storytelling im Vergleich zu Prosa Vorteile, wenn Labore, Versuchsaufbauten und Menschen in ihrer Schutzausrüstung etc. detailliert wiedergegeben werden sollen. Mitunter akzentuiert Storytelling Lebenszyklen von Stoffen, wie im Fall der „Stoffgeschichten“ (vgl. Schmidt & Reller, 2012). Visuelles Storytelling bietet zudem Vorteile, wenn das Ausmaß von Umweltzerstörung, das Leid von Menschen, Krankheitsbilder etc. eingängig vermittelt werden sollen. Der Manga *Reaktor 1F* (Tatsuta), der einen authentischen Eindruck von der Havarie in Fukushima bietet, und der autobiografische Manga *Barfuß durch Hiroshima* (Nakazawa) sind beeindruckende Beispiele hierfür. Außerdem gibt visuelles Storytelling sowohl simple Handgriffe als auch komplexe Handlungsabfolgen nachvollziehbar wieder. Dies ist hilfreich, wenn Fachsprache Anschaulichkeit schmälert oder wenn Prozesse dargelegt werden sollen, die in Industrieanlagen und damit nicht öffentlich vollzogen werden. Soll charakterorientiertes Storytelling in die naturwissenschaftliche Lehre implementiert werden, wird üblicherweise empfohlen, historische Persönlichkeiten zu Figuren im Storytelling zu machen und deren Konflikte, die Entscheidungen erfordert haben, sowie die entstandenen Konsequenzen lebendig zu vermitteln (vgl. Klassen & Froese Klassen, 2014). Denn an Erzählungen von und über Menschen, die wissenschaftlich tätig sind und im beruflichen wie privaten Umfeld „gekämpft und gelitten“ haben (Kubli, 2005, S. 57), offenbart sich „[...] die soziale Struktur der Wissenschaften und ihre Bedeutung für die jeweilige Gesellschaft“ (Kubli, 2005, S. 100).

4. Durch (visuelles) Storytelling Reflexionen über Digitalität anbahnen

Im letzten Abschnitt wurde deutlich, dass sich in Lernsituationen mit visuellem Storytelling für Lehramtsstudierende Reflexionsanlässe ergeben, unter anderem hinsichtlich der öffentlichen Rezeption von Chemie, der Veranschaulichung von Handeln sowie der Zusammenschau von bildungswissenschaftlichen Gütekriterien, Inhalten und Digitalisierung, folglich bezogen auf Digitalität (vgl. Huwer,

Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen, 2019). Im Kern sind Mediennutzung, -gestaltung und -reflexion angesprochen. So werden (Sach-)Comics als Lerngegenstand bereits vielfältig genutzt (Jaffe & Hurwich, 2019; Gavigan & Tomasevich, 2011). Vorwiegend dienen sie als Informationsquellen oder Anlass für kritisch-konstruktive Rezeptionen. Bei der eigenen Gestaltung eines Sachcomics werden Studierende mit einer Bandbreite an Herausforderungen konfrontiert, in denen sich typische Aufgaben und Gütekriterien der professionellen Unterrichtsplanung widerspiegeln. Hierzu zählen die Konstitution von Zieltransparenz, Strukturierungen im Sinne von Sequenzialisierungen, die fachlich und fachsprachlich korrekte Vermittlung von Inhalten, Kontextualisierungen, die Demonstration von Schulversuchen und Modellierungen. In diesem Zusammenhang erscheint ferner eine Auseinandersetzung mit klassischen und alternativen Formen der Protokollierung (vgl. Russek & Sommer, 2020) sinnvoll. Die Gestaltung eines Sachcomics erlaubt kein Copy and Paste. Somit schaffen die Studierenden individuelle, innovative Werke für sich selbst und ihre Mitmenschen. Damit sind vordringliche Reflexionsfragen angesprochen: Sollten Sachcomics, die Verfahrensabläufe darbieten, von Sachcomics unterschieden werden, die einer Zielgruppe erzieherische Werte vermitteln (vgl. Eisner, 1985)? Sind gute Storys immer Wertediskurse (vgl. Kellermann, 2018)? Wie wirken persuasive Botschaften im Sachcomic (vgl. Oechslein, 2013)? Unterstützt oder konterkariert das gewählte Design die Intention, positiv konnotierte, diversitätssensible Repräsentationen von Role Models in den Naturwissenschaften zu schaffen (vgl. Jesserich & Prechtel, 2020)? Eingedenk der gesellschaftlichen Verpflichtung, Unterricht stets inklusiv auszurichten, ist darüber hinaus zu klären, in welcher Weise das händische Legen einer – auch der eigenen – Geschichte mit der Cut-Out-Technik Ausdrucksmöglichkeiten in einem unvertrauten sprachlichen Umfeld schaffen kann, um so beispielsweise einen geflüchteten Jugendlichen in Lernprozesse kommunikativ miteinbeziehen zu können. Alle diese Fragen erfordern mehr als ein auf Lerninhalte und auf die technischen Aspekte der Digitalisierung bezogenes Nachdenken über Lernen. Sie zielen dezidiert auf Digitalität ab und damit im Grunde auf Bildung. Das visuelle Storytelling mit der Cut-Out-Technik generiert für Studierende im Lehramt ein Reframing, da sie lernen, dass ein Dasein als Rezipient*in in einer digitalen Welt zu kurz greift, und dass Lehrpersonen ein professionelles Verständnis von sich selbst als aktive Bildungsgestaltende entwickeln sollten. Letztendlich kann sich die Sicht der Studierenden auf ihr Lehramtsstudium positiv verändern, wenn eines ihrer Werke nicht, wie so oft im Studium, nach Begutachtung in der Ablage verschwindet, sondern nachhaltig Menschen beeindruckt und wenn diese mit ihren Feedbacks ihre Wertschätzung für die Innovation des Lernens ausdrücken.

Literatur

- Eisner, W. (1985). *Comics & Sequential Art*. Tamarac: Poorhouse Press.
- Gavigan, K.W. & Tomasevich, M. (2011). *Connecting Comics to Curriculum. Strategies for Grades 6–12*. Santa Barbara: Libraries Unlimited.
- Grasser, P. (2011). *Trickfilmstudio RU. Trickfilme im Religionsunterricht gestalten und präsentieren*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Heering, P. (2016). Geschichten erzählen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU-Journal*, 69(3), 171–176.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU-Journal*, 72(5), 358–364.
- Jaffe, M. & Hurwich, T. (2019). *Worth A Thousand Words. Using Graphic Novels to Teach Visual and Verbal Literacy*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Jesserich, T. & Prechtl, M. (2020). Komparative Diskursanalyse zu Focus Groups zu zwei Fotostories im berufsorientierenden Projekt DiSenSu. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 756–759). Duisburg-Essen: Univ. Duisburg-Essen.
- Kellermann, R. (2018). *Das Storytelling Handbuch*. Zürich: Midas.
- Klassen, S. & Froese Klassen, C. (2014). Science Teaching with Historically based Stories: Theoretical and Practical Perspectives. In M.R. Matthews (Hrsg.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (S. 1503–1529). Dordrecht: Springer.
- Kokkotas, P.V. & Kokkotas, S. (Hrsg.) (2014). *Storytelling in Science Education – Experiences and Perspectives*. CreateSpace.
- Kubli, F. (2005). *Mit Geschichten und Erzählungen motivieren: Beispiele für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. Köln: Aulis Deubner.
- Oechslin, D. (2013). Von Reflexion bis Persuasion – wenn der Sachcomic mehr will als informieren. Resultate einer Begleitstudie zu Hotnights. In U. Hangartner, F. Keller & D. Oechslin (Hrsg.), *Wissen durch Bilder. Sachcomics als Medien von Bildung und Information* (S. 189–214). Bielefeld: Transcript.
- Parchmann, I. & Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In D. Krüger et al. (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 193–205). Berlin: Springer.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 601–646). Weinheim: Beltz.
- Russek, A. & Sommer, K. (2020). Protokolle – Vielfalt statt Einfalt. Ein Beitrag zum Kompetenzbereich Kommunikation. *Unterricht Chemie*, 31(180), 2–8.
- Schmidt, C. & Reller, A. (2012). Bewerten lernen durch Stoffgeschichten und Kritikaltätsanalysen. *Unterricht Chemie*, 23(127), 44–47.
- Stalder, F. (2017). *Kultur der Digitalität*. Berlin: Suhrkamp.

E-Book-flankiertes Experimentalkonzept zu mikrobiellen Brennstoffzellen in der Sekundarstufe II

Legitimation des Themas (mikrobielle) Brennstoffzellen

Das Thema Brennstoffzellen ist landesweit in den Lehrplänen des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I und II verankert, wobei zumeist eine Erarbeitung im Kontext Elektrochemie in Abgleich mit Batterien und Akkumulatoren vorgesehen ist (z. B. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2013). Ist ein konkreter Brennstoffzelltyp benannt, so handelt es sich zumeist um die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, in einem Fall auch um die Methanol-Brennstoffzelle (Bremer Landesinstitut für Schule, 2008). In keinem der landesweiten Lehrpläne sind verpflichtende Experimente oder Vorschläge für Experimente enthalten. Dieses recht einseitige Bild spiegelte sich auch in einer 2018 NRW-weit durchgeführten Studie unter aktiven MINT-Lehrkräften wider: Obwohl alle Befragten ($n = 53$) dem Thema Brennstoffzellen eine hohe Signifikanz zusprachen, gaben sie überwiegend an, im Unterricht ausschließlich die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle im Protone-Exchange-Membrane-Aufbau zu thematisieren. 89 % derer, die zum Thema Brennstoffzelle Experimente im Unterricht durchführen, nutzen eigenen Angaben zufolge käuflich erwerbbare Kits zur Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle im PEM-Aufbau. Nach ihren Bedarfen gefragt, nannten 86 % der Lehrkräfte didaktische Materialien, Versuchsdurchführungen und Informationen zu weiteren Brennstoffzelltypen (Grandrath & Bohrmann-Linde, 2020b). Als zentraler Befund ließ sich formulieren, dass sich die Vielfalt an Brennstoffzelltypen bislang nicht im Unterrichtsgeschehen im Fach Chemie widerspiegelt, obgleich Lehrkräfte dem gegenüber aufgeschlossen sind. Dies wurde zum Anlass genommen, ein E-Book-basiertes Lernsetting für die Sekundarstufe I und II zu mikrobiellen Brennstoffzellen zu gestalten, in dem Lowcost-Realexperimente die zentralen Elemente bilden (Grandrath & Bohrmann-Linde, 2020a). Das E-Book wurde gegenüber anderen digitalen Formaten bevorzugt gewählt, da es auch offline nutzbar ist und inklusive der Eintragungen der Lernenden in ein barrierefreies Format, wie etwa ein Pdf-Dokument, überführt werden kann.

Die Bedeutung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht

Das Experimentieren gilt als fachspezifische Arbeitsweise der Naturwissenschaften selbst und wird auch zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Fachinhalte genutzt (Barke, Harsch, Marohn & Krees, 2015; Nerdel, 2017). Da sich insbesondere die Chemie als experimentelle Naturwissenschaft entwickelt hat, ist der Einsatz von

Experimenten im Chemieunterricht authentisch. Klassischerweise werden die Experimente eingesetzt, um einen empirischen Erkenntnisgewinn durch das Formulieren von Hypothesen und experimentelle Überprüfen zu intendieren (Zendler, 2018). Daneben können sie weitere didaktische Funktionen erfüllen, etwa quantitative Bestimmungen ermöglichen oder zum Wecken von Interesse motivational genutzt werden. Eine besondere didaktische Bedeutung kommt dem Schülerexperiment zu, sodass es als zentraler Bestandteil modernen Chemieunterrichts gilt (Barke et al., 2015). Dabei werden als Schülerexperimente von Lernenden selbstständig durchgeführte Experimente verstanden. Neben dem Erkenntnisgewinn im Bereich des Fachwissens fördern sie auch das Erlernen von laborpraktischen Arbeitsweisen und soziale Kompetenzen wie Teamfähigkeit und Hilfsbereitschaft (Zendler, 2018). Beim Experimentieren erfolgt die Vermittlung der Kompetenzen über verschiedene Eingangssignale: Das Zusammenspiel aus Hören, Sehen, Diskutieren und dem Selber-Tun geht mit einer (kurzfristigen) Behaltensleistung von 90 % einher (vgl. Abb. 1) (Meyerhoff & Brühl, 2017), weswegen dem Schülerexperiment gegenüber dem Demonstrationsexperiment der Vorzug zu gewähren ist – sofern das didaktische Gesamtkonzept es zulässt.

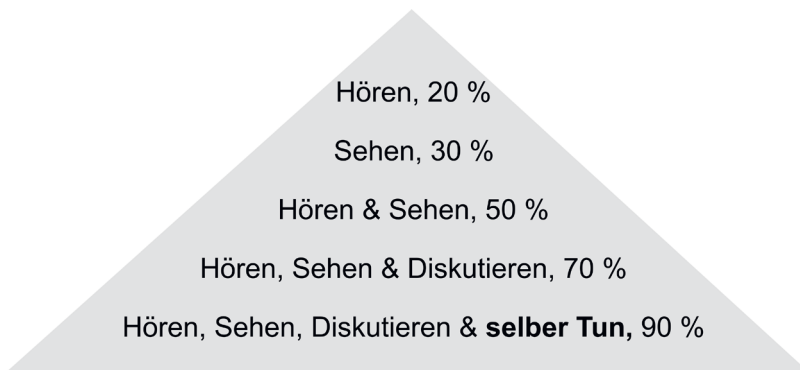


Abbildung 1: Behaltensleistung in Abhängigkeit der Aktionsformen (Meyerhoff & Brühl, 2017).

Mit verschiedenen didaktischen Mitteln können bestimmte Aktionsformen und die jeweiligen Ebenen der in Abbildung 1 dargestellten Pyramide zur Behaltensleistung adressiert werden: Während ein *digitaler Begleiter* das „Hören & Sehen“ ermöglicht, so kann mit einem *digitalen Begleiter in einem didaktischen Setting* das „Hören, Sehen & Diskutieren“ angeregt werden. Das in diesem Artikel vorgestellte Konzept entspricht einem *didaktischen Begleiter in einem didaktischen Setting, das Experiment-basiert angelegt ist*, sodass die umfassendste Aktionsebene „Hören, Sehen, Diskutieren & Selber-Tun“ und eine entsprechend hohe Behaltensleistung intendiert wird.

Didaktische Konzeption des Lernarrangements

Das drei Schulstunden umfassende Lernarrangement ist als Ergänzung bestehenden Chemieunterrichts im Themenbereich Brennstoffzelle für Lernende der Sekundarstufe II konzipiert worden. Das Hauptanliegen besteht darin, die Lernenden auf mikrobielle Brennstoffzellen und deren Anwendungsspektrum aufmerksam zu machen, um für die Vielfalt an Brennstoffzellensystemen zu sensibilisieren. Bedingt durch das flankierende E-Book ist sicherzustellen, dass pro Lernenden-Team ein digitales Endgerät zur Verfügung steht, wohingegen die Experimentiermaterialien zentral an Stationen bereitgestellt werden können. Im Zentrum des Arrangements stehen drei Schüler*innenexperimente, von denen jeweils eines den Kern der jeweiligen Schulstunde bildet. Ausgehend von einem nasschemischen Nachweis der Redox-Aktivität der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* wird zunächst ein der Geometrie des Daniell-Elements ähnlicher Zwei-Topf-Aufbau der Hefe-Brennstoffzelle sowie in Folge zur Steigerung der Zelleistung ein kompakterer Ein-Topf-Aufbau realisiert (Grandrath & Bohrmann-Linde, 2019). In Abbildung 2 ist diese inhaltliche Struktur anhand der fokussierten Realexperimente inklusive Versuchsskizze und Kernaussage zur besseren Übersichtlichkeit dargelegt.

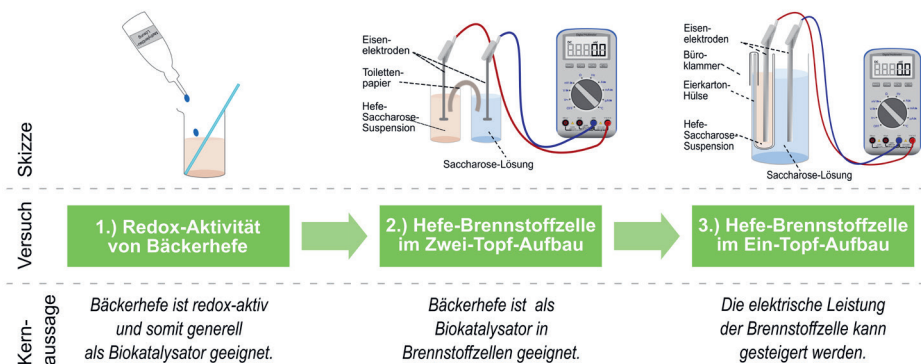


Abbildung 2: Didaktische Konzeption des Lernarrangements zu mikrobiellen Brennstoffzellen mit Bäckerhefe.

Zu Beginn des Lernarrangements sollte eine Einführung in den Umgang mit dem digitalen Endgerät und dem E-Book selbst erfolgen. Anschließend nimmt die Lehrkraft eine moderierende Funktion ein. Im E-Book sind alle die Realexperimente flankierenden Materialien vereint. Sowohl Informationstexte, Versuchsanweisungen, Fotodokumentationen, Protokollmasken, Videos und Auswertungsformate sind in dem E-Book angelegt, sodass ein Arbeiten ohne Medienbruch möglich ist. Das Konzept wird durch eine kontinuierliche Verschränkung von Theorie und Praxis getragen. Bei dem Wechselspiel von produktiven und rezeptiven Phasen überwiegt der Anteil der Aktivität der Lernenden zur Steigerung der

Motivation klar (Meyerhoff & Brühl, 2017): Nach einer Kurzwiederholung zentraler Begriffe zum Thema Brennstoffzellen in Quizform folgt ein kompakter Informationstext zu biologischen Brennstoffzellen, ehe durch ein eigens dafür erstelltes Video der Einstieg in das Gebiet der mikrobiellen Brennstoffzellen erfolgt. Die verschiedenen im E-Book gebündelten Eingangssignale sind gewählt worden, um mehrere Wahrnehmungskanäle anzusprechen und die Behaltensleistung zu verbessern (vgl. Abb. 1). Der Hauptanteil des Arrangements wird im wiederkehrenden Rhythmus von der Prompt-gestützten Durchführung eines Experimentes und der Auswertung charakterisiert. Die jeweiligen Realexperimente sind durch optional von den Lernenden konsultierbare, medial vermittelte Experimente ergänzt. Das Lernarrangement wird durch das Anordnen von Begriffen rund um das Thema mikrobielle Brennstoffzellen in einer im E-Book vorangelegten Concept Map abgerundet, mit der der Vorstellung des Ausbildens von semantischen Netzwerken beim Erwerb deklarativen Wissens entsprochen wird (Hasselhorn & Gold, 2006).

Aufbau und Funktionalität des E-Books

Das E-Book wurde unter der Verwendung der Software PubCoder in einem interaktiven E-Book angelegt und in das ePub-Format exportiert. Es kann beispielsweise mit der kostenfreien Software Calibre geöffnet werden. Das E-Book umfasst zwölf Seiten, die jeweils in einer klaren Doppelseitenstruktur angelegt sind. Die übergeordnete Struktur des E-Books orientiert sich an dem inhaltlichen Aufbau des Lernarrangements. Die Intention einer Seite oder Aufgabe wird durch die Platzierung eines Symbols deutlich (Abb. 3).

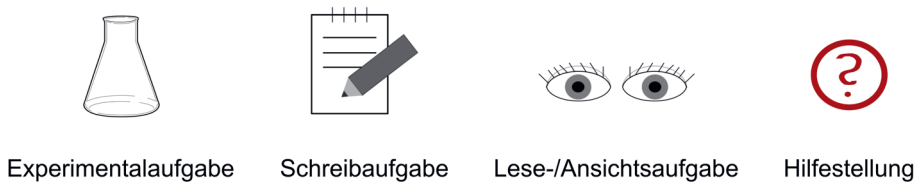


Abbildung 3: Im E-Book genutzte Symbole und ihre Bedeutung.

In das E-Book sind neben (scrollbaren) Informationstexten Videos, gestufte Hilfen, Fotogalerien zur Unterstützung von Versuchsdurchführungen und weiterführende Verlinkungen eingebunden. Da in dem gewählten Programm keine Einbindung der Tastatur möglich ist, wurden wenig textproduktive Formate zur Auswertung gewählt, etwa das „Ausmalspiel“ zur Erstellung von Messwertgraphen und der Verbindung von Satzteilen, Drag-and-Drop-Aufgaben zur Vervollständigung von Reaktionsgleichungen und Concept Maps und Quizze mit unmittelbarer Rückmeldung zur Zwischensicherung einzelner Experimentiersequenzen (vgl. Abb. 4).

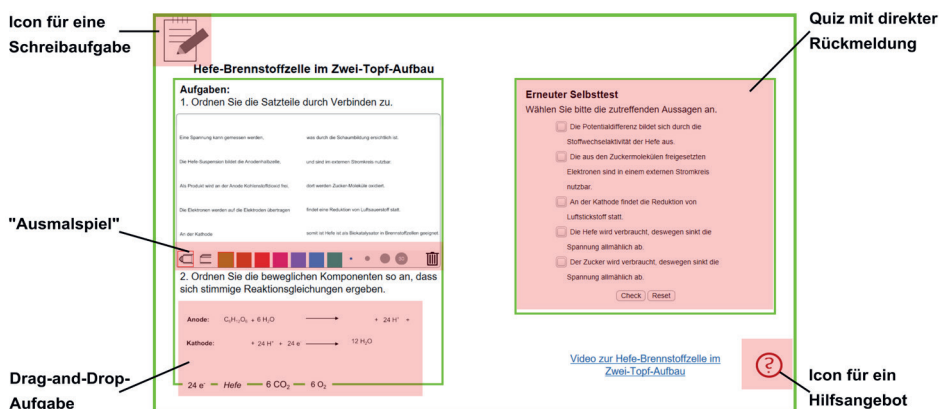


Abbildung 4: Doppelseite des E-Books mit beschrifteten Elementen.

Das von den Lernenden bearbeitete E-Book kann als Pdf-Datei exportiert werden, sodass die Lernenden am Ende der Sequenz ihre Ergebnisse barrierefrei zur Verfügung gestellt bekommen können.

Eindrücke aus der Erprobung zur Nutzung des E-Books während des Experimentierens

Durch die Corona-Pandemie bedingt konnte das E-Book flankierte Experimentalprogramm bislang nur mit einer Lerngruppe erprobt werden. Anfang des Jahres 2020 absolvierte ein aus 17 Personen bestehender Q2-Kurs das Lernarrangement. Die Lernenden belegten das Fach Chemie nicht im Abitur. Sie waren den Umgang mit iPads als digitalen Endgeräten gewohnt, da diese gelegentlich in verschiedenen Fächern genutzt wurden. Der Schwerpunkt lag Angaben der Lernenden zufolge vormals in Recherchetätigkeiten. Im Rahmen des Lernarrangements zu mikrobiellen Brennstoffzellen konnte die Nutzung des E-Books in verschiedenen Phasen des Experimentierens beobachtet werden (Abb. 5): Wie konzeptuell angedacht setzten die Lernenden das E-Book als Unterstützung zum Aufbau und der Durchführung des Realexperiments sowie zur eingehenden Auswertung ein.

In Fragebögen zur didaktischen Begleitforschung wurde neben dem Interesse an der Disziplin Chemie der Eindruck der Lernenden vom absolvierten Lernsetting erfragt: Zusätzlich zur Einschätzung ihres Lernzuwachses allgemein und speziell anhand der Experimente wurde gefragt, ob sie nach dem Lernsetting erneut in das E-Book schauen würden – was überwiegend bejaht wurde. Die Lernenden formulierten freiwillig ergänzende Anmerkungen hinsichtlich des Format des E-Books: Neben der *guten, übersichtlichen Struktur des E-Books* wurde positiv angemerkt, dass die *Durchführung der Experimente mit dem E-Book wesentlich mehr Spaß gemacht habe* (Grandrath & Bohrmann-Linde, 2020a). Das E-Book schien in



während des Aufbaus



während der Durchführung



während der Auswertung

Abbildung 5: Beobachteter Einsatz des E-Books in verschiedenen Phasen des Experimentierens.

der konkreten Erprobungssituation folglich eine gewinnbringende Unterstützung des Realexperimentes gewesen zu sein.

Ein ähnlich positiver Eindruck wurde auch bei der Erprobung eines äquivalenten Settings in der Sekundarstufe I mit Teilnehmenden des CIRO-Projektes, das sich interdisziplinär mit Themen der Nachhaltigkeit beschäftigt, im Rahmen einer Exkursion an die Bergische Universität Wuppertal gewonnen (Grandrath & Bohrmann-Linde, 2020a).

Optionale Erweiterung des Lernarrangements durch Videos

Das vorgestellte E-Book-flankierte Experimentalkonzept für die Sekundarstufe II kann optional im Sinne eines Beitrags zur Studien- und Berufsorientierung durch das Einbinden von themenbezogenen Videos erweitert werden: Frau Dr. Padma Priya Ravi und Frau Dr. Anastasia Oskina von der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie an der Universität Hohenheim forschen interdisziplinär an mikrobiellen Brennstoffzellen. Sie waren auf Anfrage bereit, in vorab erstellten Leitfaden-Interviews sowohl zum Forschungsgegenstand und der Vorgehensweise im Labor als auch ihren jeweiligen akademischen Werdegängen Auskunft zu geben. Die Interviews wurden von der Autorin vor Ort an der Universität Hohenheim geführt und gefilmt. Aus dem Filmmaterial resultierten neben dem Video zur theoretischen Vorstellung *aktueller Forschung zu mikrobiellen Brennstoffzellen* auch eines zum *Einblick in praktische Forschung zu mikrobiellen Brennstoffzellen* und zwei zu den jeweiligen Werdegängen. Da beide Interviewpartnerinnen nicht Deutsch-Muttersprachlerinnen sind, wurden die Interviews auf Englisch geführt. Die jeweils etwa fünfminütigen Sequenzen wurden sowohl in englischer als auch deutscher Sprache aufbereitet, wobei die deutschsprachigen auf der Homepage der Didaktik der Chemie an der Universität Wuppertal einsehbar sind und die englischsprachigen Varianten auf Anfrage bereitgestellt werden.

Die Kurzfilme zur vorgestellten mikrobiellen Brennstoffzelle sind zur verbesserten Eingängigkeit phasiert, Realsequenzen wurden mit Beschriftungen über-



Abbildung 6: Links: mit Beschriftungen überblendete Realsequenz; rechts: Schema der vorgestellten Brennstoffzelle.

blendet sowie Schemata und Definitionen entsprechend der Zielgruppe eingefügt – jeweils in deutscher oder englischer Sprache (vgl. Abb. 6). Durch diese Maßnahmen wird für Lernende der Sekundarstufe II ein inhaltlicher Zugang gewährleistet, sodass diese Videos in Unterrichtssettings eingebettet werden können.

Die Interviews zu den Werdegängen wurden durch die vorab formulierten Leitfragen sequenziert: Die Biotechnologin Dr. Padma Priya Ravi und die Elektroingenieurin Dr. Anastasia Oskina legen jeweils kompakt ihre berufsbezogenen Kindheitsträume, die tatsächliche Wahl und den Verlauf des Studiengangs und ihren jetzigen Berufsalltag dar. Weiterhin geben sie Einblick in ihre persönlichen bestehenden Herausforderungen und akademischen Zukunftspläne.

Der Einsatz der Videos kann die MINT-Interdisziplinarität aktueller Forschungsthemen am Beispiel mikrobieller Brennstoffzellen verdeutlichen. Durch Formulierung geeigneter Fragestellungen können sie zudem BNE-Einheiten komplettieren (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019): Neben dem prominenten naturwissenschaftlichen Bezug der Videos bringt Frau Dr. Padma Priya Ravi eine wirtschaftliche und soziale Dimension ein: Sie betont, dass enorme Mengen an Bioabfall weltweit anfallen, und sieht ihre persönliche Mission darin, insbesondere in ökonomisch benachteiligten Gebieten, wie etwa Teilen Indiens, der Bevölkerung bei der Erschließung dieser Energieversorgungsmöglichkeit helfen zu wollen. Weiterhin benennt sie explizit, dass Forschung an alternativen Energieversorgungsmöglichkeiten, wenn auch unbequem, dringend notwendig sei, um den Planeten zu schonen. Die Frage nach einer möglichen zukünftigen Energieversorgung wird in verschiedenen Dimensionen angesprochen, was als charakteristisch für BNE-Lerninhalte gilt (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019).

Ergänzend kann durch die Einbettung der Interviews zu den Werdegängen ein wertvoller Beitrag zur Berufsorientierung explizit für Schülerinnen integriert werden, in denen den Forscherinnen als Frauen in MINT-Berufen eine gewisse Vorbildfunktion zukommt.

Fazit und Ausblick

Da im Rahmen einer Umfrage von MINT-Lehrkräften der Bedarf an Unterrichtsmaterialien und insbesondere Experimentiervorschriften zu verschiedenen Brennstoffzelltypen geäußert wurde, wurde ein drei Schulstunden umfassendes, Experiment-zentriertes Lernarrangement zum Thema „Mikrobielle Brennstoffzellen“ für die Sekundarstufe II konzipiert, in einem E-Book angelegt und sowohl in der Lernenden- als auch der Lehrkräfteversion frei zur Verfügung gestellt.

In einem ersten Schritt zur Implementierung wurde das skizzierte Lernarrangement u. a. mit Lernenden der Sekundarstufe II im schulischen Kontext als inhaltlicher Exkurs erprobt. Das E-Book bündelt die Begleitmaterialien zu den im Fokus des Lernarrangements stehenden Realexperimenten, es besteht keine Konkurrenzsituation.

Je nach zeitlichen Kapazitäten kann das Lernsetting durch das Aufgreifen der im Artikel vorgestellten Videos zu aktueller Forschung an mikrobiellen Brennstoffzellen sowie Werdegang-Interviews zweier an dieser Thematik arbeitenden Forscherinnen erweitert werden. Die Videos stehen auf der Homepage der Didaktik der Chemie an der Universität Wuppertal zur Ansicht bereit und können auch losgelöst vom Lernarrangement eingesetzt werden.

Literatur

- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A. & Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Bremer Landesinstitut für Schule (2008). *Bildungsplan für die Gymnasiale Oberstufe – Qualifikationsphase: Chemie. Die Gymnasiale Oberstufe im Land Bremen*. https://www.lis.bremen.de/schulqualitaet/curriculumentwicklung/bildungsplaene/sekundarbereich__ii__allgemeinbildend-16698
- Grandrath, R. & Bohrmann-Linde, C. (2019). Die biologische Brennstoffzelle im Chemieunterricht – Einfache Experimente mit kostengünstigen Materialien. *CHEMKON*, 196–202. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800071>
- Grandrath, R. & Bohrmann-Linde, C. (2020a). Experimentieren mit interaktiven E-Books zu mikrobiellen Brennstoffzellen: Lerneinheiten für die Sekundarstufen I und II. *MNU* (zur Publikation angenommen).
- Grandrath, R. & Bohrmann-Linde, C. (2020b). Fuel cells in the chemistry classroom – a brief survey among German chemistry teachers. *ARiSE*, 1(3), 13–16.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2006). *Pädagogische Psychologie: erfolgreiches Lernen und Lehren*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Meyerhoff, J. & Brühl, C. (2017). *Fachwissen lebendig vermitteln: Das Methodenhandbuch für Trainer und Dozenten* (4., überarbeitete Auflage). Wiesbaden: Springer Gabler. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-09625-0>
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen: Chemie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/151/KLP_GOST_Chemie.pdf

- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2019). *Leitlinie für Bildung nachhaltige Entwicklung: Schule in NRW Nr.: 9052*. https://www.schulministerium.nrw.de/docs/Schulsystem/Unterricht/BNE/Kontext/Leitlinie_BNE.pdf
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Zendler, A. (2018). MINT-Fächer: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik), Technik. In A. Zendler (Hrsg.), *Unterrichtsmethoden für MINT-Fächer: Bausteine für die Verbesserung von Lernwirksamkeit und Unterrichtsqualität* (S. 3–17). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wirkungen einer Tablet-basierten Lernumgebung zum Thema Stofftrennung – eine Vergleichsstudie

Motivation

Wie in vielen anderen Bereichen der Gesellschaft breitet sich die Digitalisierung auch innerhalb des deutschen Bildungssystems rasant aus und führt damit zu unterschiedlichen Veränderungen hinsichtlich der schulischen Lehr- und Lernkultur. So wird bereits seit 2016 das Lernen *mit* digitalen Medien und *über* digitale Medien im Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ der Kultusministerkonferenz (KMK, 2016) explizit verlangt. Die Umsetzung dieser Forderung bedarf jedoch der Entwicklung neuer Konzepte und Lernmaterialien sowie des Aufbaus medienbezogener Kompetenzen einerseits auf Seiten der Lernenden und andererseits auf Seiten der Lehrenden. Neben neuen Herausforderungen birgt der vermehrte Einsatz digitaler Medien jedoch auch das Potenzial, bereits bestehende Herausforderungen besser zu bewältigen (u. a. Fisseler, 2020; Bosse & Hasebrink, 2016). So könnten digitale Medien einen Beitrag dazu leisten, die individuelle Förderung voranzubringen (z. B. Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2005) sowie den Umgang mit zunehmend heterogenen Lerngruppen zu erleichtern. Um dies realisieren zu können, ist es zunächst erforderlich, jene häufig genannten „Mehrwerte“ digitaler Medien zu eruieren, um diese anschließend gezielt für die Unterrichtspraxis nutzen zu können (u. a. Schaumburg, 2018; Hillmayr et al., 2020). Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des dargestellten Projekts, neue fundierte Erkenntnisse über die Auswirkungen des Einsatzes digitaler Medien in heterogenen Lerngruppen insbesondere auf den Lernerfolg der Schüler*innen im Chemieunterricht zu erlangen.

Theoretische Fundierung

Digitales Lernen

Bis dato existieren unterschiedliche Theorien, die sich mit dem Lernen mit digitalen Medien auseinandersetzen. Zwei der verbreitetsten sind die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML, Mayer, 2014) sowie die *Cognitive Load Theory* (CLT, Sweller et al., 2019). Die CLT geht davon aus, dass die kognitive Belastung, die zum Erlernen einer Fähigkeit erforderlich ist, in zwei Bereiche unterteilt werden kann: den *Intrinsic Cognitive Load* (ICL; Komplexität und Umfang des Lerninhalts) sowie den *Extraneous Cognitive Load* (ECL; Gestaltung des Lerninhalts). Lernprozesse können nur dann erfolgreich sein, wenn die Gesamtbelastung die

Arbeitsgedächtniskapazität der Lernenden nicht übersteigt (Sweller et al., 2019). Weiter wird angenommen, dass das menschliche Gedächtnis lernbezogene Ressourcen (*Germane Resources*) besitzt, welche die Umverteilung der Gedächtniskapazitäten von der externen Belastung (ECL) auf die lernrelevante intrinsische Belastung (ICL) bewirken. So können Informationen fokussiert werden, die der Lernaufgabe immanent sind. In früheren Versionen der CLT (Sweller et al., 1998) wurden diese Ressourcen noch als eigenständige dritte Belastungsart (*Germane Cognitive Load*) angesehen. Aufgrund neuer Studien wird dieses jedoch mittlerweile als unzutreffend eingeschätzt (Sweller et al., 2019). Ziel einer Instruktion sollte es sein, den ECL möglichst gering zu halten, damit das Arbeitsgedächtnis über genügend freie Kapazitäten zur Bewältigung des ICL verfügt. Gerade bei der Gestaltung von Unterrichtsmaterialien mithilfe digitaler Medien besteht die Gefahr einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses durch einen zu großen ECL, da die Lerninhalte hier in der Darstellung häufig eine höhere Informationsdichte und Komplexität haben (Sweller et al., 2019). Auch die CTML (Mayer, 2014) geht von einer begrenzten Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses aus. Darüber hinaus nimmt sie an, dass für die visuelle sowie auditive Wahrnehmung unabhängige Gedächtniskapazitäten beansprucht werden, sodass multimediale Informationsdarbietungen eher zu einem Lernerfolg führen sollten als ausschließlich visuelle bzw. auditive Informationen (Mayer, 2014). Für die optimale Gestaltung multimedialer Lernmaterialien halten beide dargestellten Theorien umfangreiche Kriterien bereit, welche aus Platzgründen nicht weiter ausgeführt, jedoch unter den angegebenen Quellen nachgelesen werden können.

Universelle Zugänglichkeit

Auch heute noch wird der reguläre Unterricht oft für einen imaginären Durchschnitt geplant und für alle Schüler*innen nur ein gemeinsamer Zugang zum Lernen geschaffen. Für einige Lernende kann dies jedoch Barrieren bedeuten, die sie ohne Unterstützung nicht bewältigen können. Eine Lernumgebung mit universeller Zugänglichkeit dagegen bietet verschiedene Möglichkeiten zur Überwindung dieser Barrieren oder schafft Alternativen, so dass jede*r Lernende seinen Zugang zu erfolgreichem Lernen individuell wählen kann. Ein Konzept für die Realisierung von universeller Zugänglichkeit ist das *Universal Design for Learning* (UDL; Center of Applied Special Technology [CAST], 2018). Das UDL zeichnet sich vor allem durch den Einsatz flexibler und vielfältiger Lehr- und Lernformate aus.

Forschungsfragen

Die in diesem Beitrag beschriebene Studie führt Digitalisierung und universelle Zugänglichkeit in einer Lernumgebung zusammen und hat das Ziel, den Lernprozess zu analysieren und digitales und analoges Lernen zu vergleichen. Im Folgenden wird auf den Fachwissenszuwachs, die Attraktivität und den *Cognitive Load* fokussiert.

Fachwissen

- F1: Ergeben sich Unterschiede bezüglich des Fachwissenszuwachses zwischen dem Lernen mit ...
- a. digitalen und analogen Unterrichtsmaterialien?
 - b. digitalen und analogen Unterrichtsmaterialien für Lernende unterschiedlicher kognitiver Niveaus?

Attraktivität

- F2: Wie werden die digitalen bzw. analogen Unterrichtsphasen von den Lernenden eingeschätzt?

Cognitive Load

- F3: Welchen Einfluss haben die digitalen bzw. analogen Unterrichtsmaterialien auf die kognitive Belastung der Lernenden?

Untersuchungsdesign und Erhebungsinstrumente

Die digitale Lernumgebung behandelt den Themenbereich Stofftrennung und wurde für den Einsatz an Gesamtschulen konzipiert, wobei das UDL Leitlinie war. Die Erprobung im Unterricht erfolgte in Form eines Projekttages an den Schulen (vgl. Abb. 1). Der Unterricht ließ sich in Einstiegsphase, Experimentierphase und Theoriephase unterteilen. Für die Untersuchung wurden die Lernenden einer Klasse auf Grundlage ihres Pre-Fachwissens (Vorwissen), der kognitiven Fähigkeiten sowie des Geschlechts parallelisiert und in zwei Vergleichsgruppen unterteilt. Diese unterschieden sich dadurch, dass die sog. digitale Gruppe in der Experimentier- sowie Theoriephase mit digitalen Unterrichtsmaterialien in Form eines interaktiven iBooks und die sog. analoge Gruppe mit inhaltsgleichen analogen Materialien in Form von „klassischen“ Arbeitsheften arbeitete.

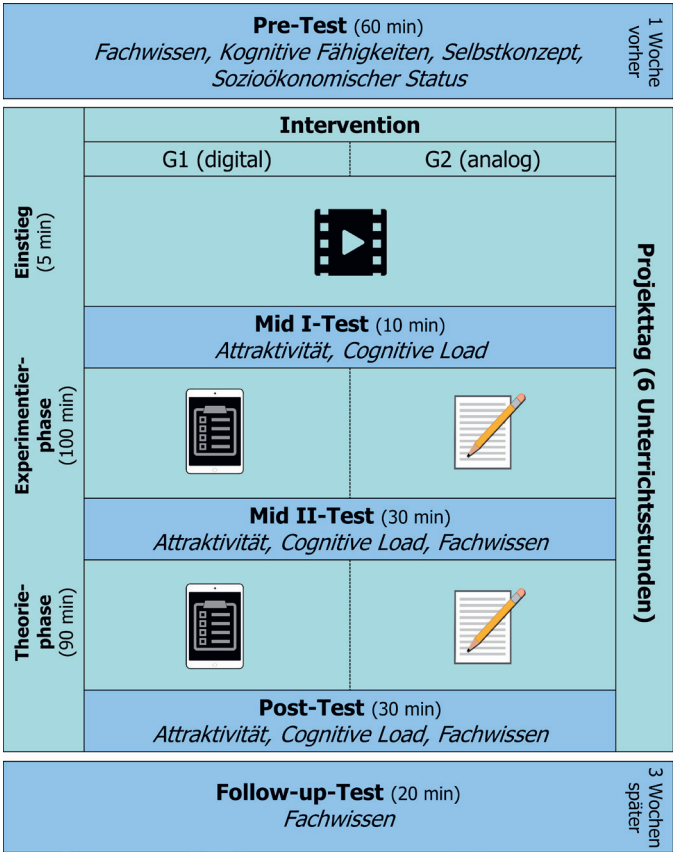


Abbildung 1: Untersuchungsdesign.

Für die Evaluation wurden verschiedene Instrumente verwendet. Im Zuge der Pre-Testung wurden eine Woche vor der Intervention u. a. ein Fachwissenstest zur Ermittlung des Vorwissens (Multiple-Choice-Test mit 24 Items, Cronbach's $\alpha = .793$) sowie der CFT 20-R zur Erfassung kognitiver Fähigkeiten eingesetzt (Weiß, 2006). Innerhalb der Intervention wurde nach den einzelnen Unterrichtsphasen ein Attraktivitätsfragebogen (10 Items, 6-stufige Likert-Skala, Cronbach's $\alpha = .886$) eingesetzt, um zu untersuchen, inwiefern die Lernenden die jeweiligen Unterrichtsphasen als ansprechend empfunden haben. Da die Lernenden in Einzelarbeit arbeiteten, ermittelte dieser Fragebogen primär die Bewertung der Arbeitsmaterialien. Außerdem wurde ein *Cognitive-Load*-Fragebogen (10 Items, davon: 3 ICL-Items, 3 ECL-Items, 4 GCL-Items; 6-stufige Likert-Skala, Cronbach's $\alpha = .844$) zur Erfassung der kognitiven Belastung der Lernenden in den Unterrichtsphasen eingesetzt. Dieser wurde in Anlehnung an Leppink et al. (2013) konstruiert. Darüber hinaus wurde sowohl nach der Experimentier- als auch nach der Theoriephase erneut der Fachwissenstest eingesetzt, um die Wirkungen der einzelnen Phasen auf

den Lernzuwachs ermitteln zu können. Neben den genannten punktuellen Tests wurden außerdem die Handlungen der Schüler*innen videografiert.

Die digitale Lernumgebung

Für die digitale Lernumgebung wurde die Autorensoftware *iBooks Author* von *Apple* genutzt. Diese beinhaltet nützliche Funktionen und bietet den Vorteil der möglichen Implementation HTML5-basierter Anwendungen (sogenannter Widgets) externer Anbieter. Dadurch ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der interaktiven Gestaltung. Da viele deutsche Schulen noch nicht mit einem stabilen WLAN-Netzwerk ausgestattet sind, wurde das iBook für die Offline-Nutzung konzipiert. Bei der Gestaltung der Unterrichtsmaterialien wurde sich an den Gestaltungskriterien der CTML (Mayer, 2014), den Prinzipien der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2019) sowie den Richtlinien des UDL (CAST, 2018) orientiert. Die drei Unterrichtsphasen wurden folgendermaßen gestaltet:

Einstiegsvideo

Der Einstieg in die Lernumgebung erfolgte über ein Video, welches die Schüler*innen über den Beamer ansahen. Dieses sollte vorrangig der Motivation der Lernenden dienen, so dass noch kein fachlicher Inhalt vermittelt wurde. Das Video beschreibt eine fiktive Reise der Schüler*innen in ein weit entferntes Land. Auf dem Weg dorthin gerät ihr Flugzeug in ein Unwetter und muss auf einer einsamen Insel notlanden. Dort angekommen müssen die Schüler*innen verschiedene Herausforderungen mithilfe von Stofftrennung meistern, um zu überleben.

Experimentierphase

In der Experimentierphase führten die Lernenden Versuche zu unterschiedlichen Trennverfahren durch. Dazu erhielt jede*r Schüler*in eine eigene Experimentierbox sowie die entsprechenden Unterrichtsmaterialien. Alle Lernenden arbeiteten in Einzelarbeit und wurden durch die Materialien angeleitet. Die Bearbeitung der insgesamt sieben Trennverfahren (Filtrieren, Adsorbieren, Destillieren, Chromatografieren, Sedimentieren, Sieben, Extrahieren) erfolgte immer nach dem gleichen strukturellen Ablauf: Zu Beginn erhielten die Lernenden einen kleinen Denkanstoß zu dem jeweiligen Versuch. Hierzu wurden Ausschnitte aus Zeitungsartikeln, Bilder oder Videos genutzt, die die Lernenden dabei unterstützen sollten, erste Ideen zu entwickeln. Im nächsten Schritt erfolgten die Planung und Durchführung der Versuche, wozu die Lernenden zunächst versuchen sollten, eine eigene Versuchsanleitung zu verschriftlichen. Um dies möglichst universell zugänglich zu gestalten, erhielten die Schüler*innen Unterstützung durch gestufte Lernhilfen, welche sie selbst auswählen konnten (Abbildung 2). Tippten die Schüler*innen auf die Experimentierbox, wurden ihnen alle Materialien angezeigt, die sie für die-

sen Versuch benötigen. Die Vögel daneben boten weitere gestufte Hilfen in Form eines kleineren Hinweises zum Versuchsaufbau (grüner Vogel) und einer Bilderanleitung (gelber Vogel). Der rote Vogel zeigte eine fertige Versuchsanleitung, welche außerdem multimedial in Form von Videosequenzen angesehen werden konnte. Die Gestaltung der gestuften Hilfen als Piraten-Vögel erfolgte zum einen aufgrund der bereits geschilderten Rahmengeschichte, zum anderen sollte durch die Symbolik des „unauffälligen Zuzwitscherns“ einer Hilfe die Hemmschwelle herabgesetzt werden, diese zu nutzen. Die Dokumentation jedes Versuchs umfasste einen Vorher-Nachher-Vergleich, wozu die Foto-Funktion des iBooks genutzt wurde. Ergänzend dazu wurde die Beobachtung schriftlich in das iBook eingetragen.

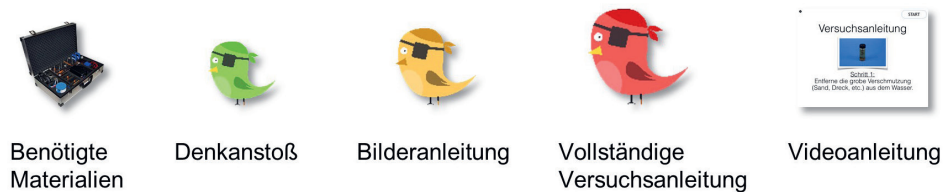


Abbildung 2: Gestufte Lernhilfen der Experimentierphase.

Theoriephase

Nach der Experimentierphase erfolgte eine vertiefende Aufbereitung der Inhalte im Rahmen der Theoriephase. Als Erstes erhielten die Lernenden generelle Informationen über das jeweilige Trennverfahren. Neben einem Informationstext, der auch als Audiodatei angehört werden konnte, erhielten die Lernenden ergänzend Informationen durch interaktive Bilder, Animationen oder Videos. Zusätzlich konnten sie durch Klicken auf einen Button das notwendige Vorwissen auffrischen, aber auch Zusatzinformationen erhalten. Anschließend bearbeiteten die Lernenden unterschiedliche Aufgaben, wobei ihnen pro Trennverfahren drei Aufgaben auf drei verschiedenen Anspruchsniveaus zur Auswahl standen. Dabei wurden sie dazu angehalten, mindestens zwei der drei Aufgaben auszuwählen. Nach der Bearbeitung einer jeden Aufgabe erhielten die Schüler*innen ein automatisiertes Feedback und konnten Überarbeitungen vornehmen bzw. die Aufgabe wiederholen. Zuletzt fassten die Lernenden ihr neu angeeignetes Wissen zusammen. Dies geschah in Form eines Artikels für die Schulhomepage, durch ein Online-Interview bzw. einen simulierten WhatsApp-Chat. Auch hier erhielten die Schüler*innen Unterstützung durch gestufte Lernhilfen im Sinne einer universellen Zugänglichkeit, welche Tipps und Formulierungsvorschläge bereithielten.

Analoge Umsetzung

Wie bereits erwähnt, wurden neben dem vorgestellten digitalen iBook analoge Materialien für den Vergleich entwickelt. Diese Materialien wurden in Form von regulären Arbeitsheften gestaltet, die inhaltlich mit dem iBook identisch waren.

Dabei ließen sich nicht alle Funktionen des iBooks 1:1 in die analogen Arbeitshefte übertragen, was zwangsläufig die Vergleichbarkeit in gewissem Umfang einschränkt. So mussten beispielsweise Videos und Animationen durch Bilderfolgen ersetzt werden und anstelle der Fotofunktion mussten die Lernenden Zeichnungen anfertigen. Hinsichtlich der gestuften Lernhilfen, welche in das digitale iBook integriert waren, erhielt jede*r Lernende der Gruppe G2 ein Tipp-Heft mit den entsprechenden Lernhilfen.

Ergebnisse

Die Hauptuntersuchung wurde an vier Gesamtschulen in NRW mit insgesamt 10 Klassen ($N = 230$ Schüler*innen, $M_{\text{Alter}} = 13.95$ Jahre, Anteil_{Mädchen} = .43) durchgeführt. Für die Gruppenvergleiche wurde der t -Test für verbundene bzw. unabhängige Stichproben verwendet (Effektstärke: Cohens δ). Bei nicht normalverteilten Datensätzen wurde zur Absicherung ein entsprechender U -Test durchgeführt (Effektstärke: ϕ).

Das Fachwissen der Lernenden der digitalen Gruppe sowie der analogen Gruppe wurde durch die Lernumgebung signifikant gesteigert (digital: $n = 117$, $M_{\text{Pre}} = .28$, $M_{\text{Post}} = .47$, $p < .001$, $\delta = 1.14$; analog: $n = 113$, $M_{\text{Pre}} = .28$, $M_{\text{Post}} = .43$, $p < .001$, $\delta = .91$). Bezüglich des Zuwachses innerhalb der einzelnen Phasen zeigt sich, dass die Schüler*innen beider Gruppen sowohl durch die Experimentierphase (digital: $n = 117$, $M_{\text{Pre}} = .28$, $M_{\text{Mid II}} = .38$, $p < .001$, $\phi = .61$; analog: $n = 113$, $M_{\text{Pre}} = .28$, $M_{\text{Mid II}} = .39$, $p < .001$, $\phi = .61$) als auch durch die Theoriephase (digital: $n = 117$, $M_{\text{Mid II}} = .38$, $M_{\text{Post}} = .47$, $p < .001$, $\phi = .53$; analog: $n = 113$, $M_{\text{Mid II}} = .39$, $M_{\text{Post}} = .43$, $p < .001$, $\phi = .33$) signifikant dazugelernt haben.

Beim residuenbasierten Vergleich der digitalen mit der analogen Gruppe zeigen sich für die Gesamtstichprobe (F1a) weder im Pre-Post-Vergleich ($n_{\text{digital}} = 117$, $M_{\text{digital}} = .09$, $n_{\text{analog}} = 113$, $M_{\text{analog}} = -.09$, $p = .159$, $\delta = .19$) noch in den einzelnen Phasen ($n_{\text{digital}} = 117$, $n_{\text{analog}} = 113$; Experimentierphase: $M_{\text{digital}} = -.02$, $M_{\text{analog}} = .02$, $p < .532$, $\phi = .04$; Theoriephase: $M_{\text{digital}} = .13$, $M_{\text{analog}} = -.13$, $p = .053$, $\delta = .26$) signifikante Unterschiede hinsichtlich des Fachwissenszuwachses, wenngleich die digitale Gruppe in der Theoriephase fast signifikant besser abschneidet. Werden die Lernenden jedoch unter Berücksichtigung ihrer kognitiven Fähigkeiten (Ergebnisse des CFT 20-R-Tests) in Leistungsdrittel unterteilt (F1b), ergibt sich ein differenzierteres Bild. Während sich die Ergebnisse des oberen sowie mittleren kognitiven Leistungsdrittels der beiden Gruppen hinsichtlich der Experimentier- sowie der Theoriephase nicht signifikant unterscheiden, zeigt sich für das untere Drittel ein signifikanter Unterschied zugunsten der digitalen Gruppe nach der Theoriephase (digital: $n = 39$, $M_{\text{Mid II}} = .33$, $M_{\text{Post}} = .45$; analog: $n = 37$, $M_{\text{Mid II}} = .30$, $M_{\text{Post}} = .34$; Residuen Theoriephase: $M_{\text{digital}} = .29$, $M_{\text{analog}} = -.32$, $p = .005$, $\delta = .67$). Die kognitiv

schwächeren Lernenden scheinen hier also deutlich von den digitalen Lernmaterialien zu profitieren.

Hinsichtlich der Attraktivität (F2) bewertet die digitale Gruppe die Lernumgebung zu jedem Messzeitpunkt signifikant positiver als die analoge Gruppe (digital: $n = 111$, $M_{\text{Video}} = 4.97$, $M_{\text{Experiment}} = 5.48$, $M_{\text{Theorie}} = 4.34$, analog: $n = 111$, $M_{\text{Video}} = 4.50$, $M_{\text{Experiment}} = 4.86$, $M_{\text{Theorie}} = 3.31$; $p_{\text{Video}} < .001$, $\varphi_{\text{Video}} = .40$, $p_{\text{Experiment}} < .001$, $\varphi_{\text{Experiment}} = .54$, $p_{\text{Theorie}} < .001$, $\varphi_{\text{Theorie}} = .57$).

In Bezug auf die kognitive Belastung (F3) schätzt die analoge Gruppe diese nach der Experimentier- sowie der Theoriephase signifikant höher ein als die digitale Gruppe (digital: $n = 113$, $M_{\text{Video}} = 2.53$, $M_{\text{Experiment}} = 1.74$, $M_{\text{Theorie}} = 2.31$, analog: $n = 109$, $M_{\text{Video}} = 2.77$, $M_{\text{Experiment}} = 2.35$, $M_{\text{Theorie}} = 2.94$; $p_{\text{Video}} = .084$, $\varphi_{\text{Video}} = .12$, $p_{\text{Experiment}} < .001$, $\varphi_{\text{Experiment}} = .34$, $p_{\text{Theorie}} < .001$, $\varphi_{\text{Theorie}} = .29$).

Diskussion

Als Ursache für den signifikanten Unterschied bezüglich des Fachwissenszuwachses zwischen der digitalen und analogen Gruppe des unteren kognitiven Leistungsdrittels kann vermutet werden, dass zum einen die Animationen und Videos zur Erklärung chemischer Prozesse im Gegensatz zu den analogen Bilderfolgen einen Mehrwert bieten (Mayer & Gallini, 1990). Zum anderen ist es denkbar, dass die digitale Gruppe insbesondere vom automatisierten Feedback bei der Aufgabebearbeitung (Maier, 2020) und von der unmittelbaren Verfügbarkeit der gestuften Hilfen innerhalb des iBooks profitiert (Arnold, Kremer & Mayer, 2017). Hinzu kommt, dass die Nutzung der digitalen Lernhilfen von Lehrkraft und Peergroup nicht gesehen wurde, was bei der Nutzung der analogen Tipp-Hefte anders war. Diese Vermutungen werden aktuell auf der Basis von Videoanalysen überprüft.

Mit Blick auf die höhere Attraktivität der digitalen Lernphasen kann vermutet werden, dass hierbei einerseits der Neuheitseffekt der iPads eine Rolle spielt, andererseits dürften insbesondere die interaktiven und multimedialen Funktionen der iPads von den Lernenden als attraktiv empfunden werden (Rey, 2009).

Die höheren Werte der analogen Gruppe hinsichtlich des *Cognitive Loads* (F3) können damit zusammenhängen, dass die Lernenden der analogen Gruppe während der Arbeitsphasen häufig parallel mit dem Arbeitsheft und Tipp-Heft arbeiten, während die gestuften Hilfen im digitalen iBook unmittelbar zugänglich sind (Sweller et al., 2019).

Insgesamt haben die dargestellten Ergebnisse einige positive Implikationen: So können zum einen Befürchtungen hinsichtlich der Abnahme des Fachwissenszuwachses durch die zunehmende Digitalisierung der deutschen Schulen gemindert werden. Zum anderen gibt es Anlass zur Annahme, dass insbesondere kognitiv schwächere Lernende durch die Nutzung digitaler Unterrichtsmaterialien gewinn-

bringend unterstützt werden können. Zudem hat sich gezeigt, dass digitale Lernangebote von den Schüler*innen positiv bewertet werden und positive Auswirkungen auf die kognitive Belastung der Lernenden haben. Zur näheren Untersuchung der Befunde erfolgt aktuell die Auswertung der angefertigten Videoaufnahmen.

Literatur

- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *ZfDN*, 23(1), 21–37.
- Bosse, I. & Hasebrink, U. (2016). *Mediennutzung von Menschen mit Behinderung*. <https://www.aktion-mensch.de/dam/jcr:8b186ca0-b0f1-46f8-acb1-a59f295b5bb4/aktion-mensch-studie-mediennutzung-langfassung-2017-03.pdf>
- Center of Applied Special Technology (2018). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*. <https://udlguidelines.cast.org/more/downloads>
- Fisseler, B. (2020). Inklusive Digitalisierung, Universal Design for Learning und assistive Technologie. *Sonderpädagogische Förderung Heute*, 65(1), 9–20.
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153.
- KMK (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/Strategie_neu_2017_datum_1.pdf
- Leppink, J., Paas, F., van der Vleuten, C. P. M., van Gog, T. & van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058–1072.
- Maier, U. (2020). Modellierung der Effekte lernzielorientierter Tests nach dem Prinzip des mastery measurement innerhalb einer digitalen, formativen Leistungsmessung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23(4), 769–791.
- Mayer, R. E. (2014). *Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl.). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When Is An Illustration Worth Ten Thousand Words? *Journal of Educational Psychologie*, 82(4), 715–726.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2005). *Schulgesetz NRW: SchulG*. https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=100000000000000000524
- Rey, G. D. (2009). *E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. Bern: Hans Huber Verlag. <http://www.socialnet.de/rezensionen/isbn.php?isbn=978-3-456-84743-6>
- Schaumburg, H. (2018). Empirische Befunde zur Wirksamkeit unterschiedlicher Konzepte des digital unterstützten Lernens. In N. McElvany, F. Schwabe, W. Bos & H. G. Holtappels (Hrsg.), *IFS-Bildungsdialoge: Band 2. Digitalisierung in der schulischen Bildung: Chancen und Herausforderungen* (S. 27–40). Münster, New York: Waxmann.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292.
- Weiß, R. H. (2006). *Grundintelligenzskala 2 (CFT 20-R)*. Göttingen: Hogrefe.

Lab@Home – Chemieunterricht ganz in Distanz

1. Einleitung

Die Corona-Pandemie führte im Frühjahr 2020 dazu, dass weltweit viele Schulen und Universitäten praktisch von heute auf morgen ihre Lehre auf Distanzunterricht umstellen mussten. Dieser Umstand wirkte an vielen Bildungseinrichtungen wie ein Katalysator für die Digitalisierung der Lehre (Huwer & Banerji, 2020). Auch an der Universität Potsdam wurde ein Projektseminar für Lehramtsstudierende der Chemie kurzerhand umgestaltet und „digitalisiert“, um Chemie-Lehrkräfte an den Schulen beim Homeschooling zu unterstützen. Die Studierenden entwickelten hierzu unter Anleitung Videotutorials für die Durchführung und Auswertung von chemischen Experimenten mit Alltagsmaterialien sowie passende Arbeitsblätter und Gefährdungsbeurteilungen für die direkte Einbettung der Videos in den Distanzunterricht. Alle Materialien wurden auf der Projektwebseite als OER-Materialien veröffentlicht (Abb. 1).



Abbildung 1: Logo und QR-Code der Projektwebseite, www.banerji-lab.com/labhome

In diesem Artikel wird eine theoretische Einführung zu Lernvideos gegeben, die Struktur des Projektseminars Lab@Home beschrieben sowie beispielhaft die Entstehung des Videos einer Studentin (und Co-Autorin des Beitrags) vorgestellt.

2. Theoretische Einordnung von Lehr-Lern-Videos für den Unterricht

Da im Zentrum des Projektes das Videoelement steht, soll zunächst eine kurze theoretische Einführung in das Lehren und Lernen mit Videos gegeben werden. Für eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema empfehlen wir die Ausgabe Lernen mit Videos der Zeitschrift *Computer + Unterricht* (Wolf, 2018a) sowie das im vergangenen Jahr erschienene Buch *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos* (Dorgerloh & Wolf, 2020).

Wolf trennt begrifflich das Erklärvideo (auch Lernvideo) vom Videotutorial. Während im Ersteren „abstrakte Konzepte und Zusammenhänge erklärt werden“, wird in einem Videotutorial „eine beobachtbare Fertigkeit explizit zum Nachahmen durch die Zuschauer vorgemacht“ (Wolf, 2018b). Da die Lab@Home-Videos sowohl einen tutoriellen (Vorführen des Experimentes) als auch einen erklärenden Teil (Deutung des Experimentes) beinhalten, sind sie beiden Kategorien zuzuordnen.

Die fachdidaktische Forschung hat sich bislang vorwiegend dem Erklärvideo gewidmet, u. a. Wolf & Kulgemeyer (2016), Fleischer & Nerdel (2017), Krause & Eilks (2020). Daher kann das fach- und mediendidaktische Potenzial von Erklärvideos für den Unterricht gut beschrieben werden. Erklärvideos können z. B. im Blended Learning oder Flipped Classroom als alternative Lernstrategie eingesetzt werden. Der Einsatz kann in drei hierarchischen Stufen erfolgen (Rummler, 2017), wobei der Grad der inhaltlichen Auseinandersetzung stufenweise steigt. Die niedrigste Stufe (Lernen am Modell) ist das reine Rezipieren und Nachahmen der Inhalte der Videos. In der nächsthöheren Stufe reflektieren und analysieren die Lernenden ein Erklärvideo, was aus lernzieltaxonomischer Sicht weit über die reine Instruktion durch ein Erklärvideo hinausgeht (ebd.). Den höchsten Grad der Auseinandersetzung erreichen Lernende, wenn sie selbst Erklärvideos produzieren (Lernen durch Lehren), wobei sie den zu erklärenden Inhalt tiefer durchdringen (Wolf, 2015). Erklärvideos, die von Lernenden selbst produziert werden, haben zudem das Potenzial, als Diagnoseinstrument für Lehrkräfte zu fungieren (Wolf & Kulgemeyer, 2016).

Doch die Erklärqualität von Erklärvideos ist sehr unterschiedlich. Kulgemeyer beschreibt anhand von sechs theoriegeleiteten Kriterien, wie die Qualität von Erklärvideos bewertet und bei der Produktion von Videos sichergestellt werden kann (Tab. 1). Zudem untersucht er in einer Vergleichsstudie die Lernwirksamkeit von zwei für die Untersuchung entwickelten Erklärvideos zu einem physikalischen Thema (Kulgemeyer, 2020). Beide Videos sind fachwissenschaftlich korrekt und in ihrer Länge als auch an Lerngelegenheiten (bezogen auf die späteren Testaufgaben) vergleichbar. Sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Erklärqualität im Sinne des Grads der Umsetzung der Qualitätskriterien. Die Ergebnisse zeigen, dass die Treatmentgruppe (Video mit hoher Erklärqualität) im Posttest ein signifikant höheres deklaratives Wissen aufweist als die Vergleichsgruppe (Video mit niedriger Erklärqualität). Es sollte dennoch erwähnt bleiben, dass das Lernen mit Erklärvideos noch nicht hinreichend untersucht ist. So konstatiert Kulgemeyer selbst: „However, we are aware that further research is needed and our framework even might be outdated soon in an area of science education, which is as rapidly developing as digital media.“ (ebd.).

Tabelle 1: Qualitätskriterien von Erklärvideos (angelehnt an Kulgemeyer, 2018)

Kriterium	Beschreibung
Adaption	– Berücksichtigung einer bestimmten Adressatengruppe
Veranschaulichungswerkzeuge nutzen	– Nutzung von Beispielen, Analogien, Modellen, Experimenten – Auswahl von geeigneter Sprachebene und Mathematisierungsgrad
Relevanz verdeutlichen	– Prompts zu relevanten Inhalten – direkte Ansprache des Adressaten
Struktur geben	– Induktives oder deduktives Vorgehen – Zusammenfassung am Ende
Präzise und kohärent erklären	– Exkurse und Cognitive Load vermeiden – Konnektoren wie „weil“ verwenden – Synonyme vermeiden
Konzepte erklären	– Neues, komplexes Prinzip als Thema
In Unterricht einbetten	– Anschließende Lernaufgabe zur Vertiefung

3. Strukturelemente des Projektseminars

Das Projektseminar Lab@Home wurde vollständig im Distanzunterricht via synchronen Zoom-Sitzungen durchgeführt. An dem Seminar nahmen 20 Masterstudierende teil. Um Lehrkräfte noch im laufenden Schulhalbjahr unterstützen zu können, war das Ziel, die Videos und Begleitmaterialien noch vor den Sommerferien bereitzustellen. Somit standen für das Projektseminar insgesamt 8 Lehreinheiten à 180 Min. zur Verfügung. Dies stellte eine große Herausforderung dar, da den Studierenden binnen kürzester Zeit die fachdidaktischen, mediendidaktischen sowie technisch-filmerischen Voraussetzungen für die Erstellung der Lernvideos vermittelt werden mussten.

Auswahl der Inhalte und Experimente

Um Zeit einzusparen wurden die Themen und Experimente den Studierenden vorgegeben. Dabei handelt es sich zum Großteil um literaturbekannte Experimente aus den Inhaltsbereichen Trennverfahren, Säuren & Basen, Gase, Redoxreaktionen und Elektrochemie. Diese wurden lediglich so angepasst, dass sie ohne Laborequipment und ausschließlich mit Alltagsmaterialien zu Hause durchgeführt werden können. Einige Experimente wurden aber auch speziell für das Seminar entwickelt, so etwa das Experiment 10 – *Wasserelektrolyse in der TicTac-Dose*. Für die Umsetzung des Projektes bearbeiteten je zwei Studierende dasselbe Thema, wobei jede*r Student*in sein* ihr eigenes Video produzierte. Somit stehen auf der Projektwebseite für jedes der zehn Themen (außer Thema 1) zwei Varianten von Erklärvideos zur Verfügung. Zur Einordnung des Gefahrenpotenzials stehen

zudem Gefährdungsbeurteilungen als PDF-Download bereit. Es liegt im Verantwortungsbereich der Lehrkraft zu entscheiden, ob und welche Experimente für das Homeschooling eingesetzt werden. Es wird empfohlen, im Vorfeld das Einverständnis der Eltern einzuholen und Schüler*innen nur unter Aufsicht von Erwachsenen zu Hause experimentieren zu lassen. Im Abspann der Videos wird darauf hingewiesen, dass die Autor*innen keine Haftung für Sach- oder Personenschäden übernehmen.

Fachdidaktisches Training

Aufgrund des sehr kurzen zeitlichen Vorlaufs war es nicht möglich, das Projektseminar intensiv zu planen und vorzubereiten. Es wurde entschieden, den Studierenden ein kompaktes fachdidaktisches Training zu erteilen, in welchem die zehn Themen und zugehörigen Experimente vorgestellt und wichtige fachdidaktische Elemente wie die Einbettung in einen Kontext, die Veranschaulichung durch Analogien und Modelle und die Berücksichtigung der Zielgruppe (Adaption) behandelt wurden. Die Qualitätskriterien für Erklärvideos nach Kulgemeyer lagen zum Zeitpunkt der Projektplanung leider noch nicht vor. Dennoch lässt sich feststellen, dass in vielen der veröffentlichten Videos die Qualitätskriterien in einem angemessenen Grad erfüllt wurden.

Darüber hinaus erhielten die Studierenden einen fachdidaktischen Input zur Gestaltung von Lernaufgaben (für das begleitende Arbeitsblatt) und wurden in die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen mit Degintu (<https://degintu.dguv.de>) eingeführt.

Mediendidaktisches Training

Die Studierenden erhielten auch ein kompaktes mediendidaktisches Training. In diesem wurde ein besonderer Wert auf die Veranschaulichung durch den Einsatz von animierten Bildern und Modellen gelegt. Hierfür wurden die Studierenden in die Nutzung von *Microsoft PowerPoint* zur Erstellung von Animationen eingeführt (Banerji, 2017).

Da die Videos zum Projektende als OER-Materialien veröffentlicht werden sollten, lag ein weiterer Fokus im Themenbereich des Urheberrechts. OER (Open Educational Resources) sind Materialien für Bildungszwecke, die unter freien Lizenzen für jede*n zur Verfügung gestellt werden. Dabei werden in aller Regel die Materialien unter cc-by oder cc-by-sa veröffentlicht. Diese Creative-Commons-Lizenzen erlauben es, die Materialien unter Namensnennung (by) bzw. unter gleichen Bedingungen (sa) weiterzugeben, zu bearbeiten und zu vervielfältigen (DIPF, 2020).

Alle Studierenden willigten ein, ihre Werke als OER-Material zu veröffentlichen und waren damit angehalten, ausschließlich Bild- und Tonmaterial zu verwenden, das lizenzfrei oder unter einer freien Lizenz verfügbar war. Für kostenlose, lizenzfreie Bilder wurde die Plattform Pixabay (www.pixabay.com) und für kostenlose, gemafreie Hintergrundmusik überwiegend der Dienst Musicfox (www.musicfox.com/info/kostenlose-gemafreie-musik.php) genutzt.

Videotraining

Der größte Schulungsbedarf wurde in einem technisch-filmerischen Training der Studierenden vermutet. Daher wurde hierfür ein größerer Zeitrahmen eingeplant und es wurde ein Kooperationspartner aus der Filmbranche ins Team geholt, der das Videotraining übernahm. Wichtige Elemente des Trainings waren das Anlegen eines Storyboards, der Aufbau einer Kulisse mit Heimmaterialien, die Nutzung des Smartphones als Videokamera und die Einführung in die Nutzung des Open-Source-Programms *Shotcut* (www.shotcut.org) für die Videobearbeitung. Insgesamt wurde im Projekt Wert darauf gelegt, kostenfreie Tools und standardmäßig an Schulen vorhandene Software wie *Microsoft PowerPoint* zu verwenden.

4. Vorstellung eines Lab@Home-Videos

Im Folgenden wird die Umsetzung des Projektes Lab@Home am Experiment 5 – V1 *Wasserstoff aus dem Bleianspitzer* exemplarisch vorgestellt. Das Medienpaket besteht aus dem Video, einem Arbeitsblatt und der Gefährdungsbeurteilung. Es ist auf der Projektwebseite (Abb. 1) über die Auswahl des Experiments 5 (V1) abrufbar.

Das präsentierte Experiment behandelt die chemische Reaktion von Magnesium und Essigsäure sowie die Nachweisreaktion des entstandenen Gases Wasserstoff. Da es sich um ein Experiment handelt, das im Homeschooling durch die Schüler*innen selbstständig durchgeführt werden soll, wurde darauf geachtet, ausschließlich Materialien zu verwenden, die in den meisten Haushalten vorhanden sind. Weiterhin wurde hinsichtlich der verwendeten Chemikalien und der Durchführung den *Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht* (KMK, 2019) Folge geleistet. Angelehnt an das Experiment *Einwirkung von Säuren auf Anspitzkörper aus Metall* (Blume, 2008) wird in einem ausgedienten Honig- oder Marmeladenglas Essigessenz mit Spülmittel vorgelegt und in dieser Lösung ein Bleistiftanspitzer mit einem Gehäuse aus Magnesium zur Reaktion gebracht. Der entstandene Wasserstoff wird in Form von Schaum aufgefangen und mithilfe eines brennenden Holzstabes (Zahnstocher oder Schaschlikspieß) über die Knallgasprobe nachgewiesen. Die Produktion des entsprechenden Videos erfolgte in drei Schritten.

Schritt 1 – Storyboard erstellen

Der erste Schritt zur Erstellung des Lernvideos bestand darin, die inhaltliche und zeitliche Planung des Videos in einem Storyboard zu strukturieren und zu gliedern (Abb. 2).

Inhaltlich ist das Video in Einleitung, Hauptteil und Schluss gegliedert. Zunächst werden die Zuschauer*innen begrüßt und das Thema des Videos kurz dargestellt. Der anschließende Hauptteil untergliedert sich weiterhin in Geräte und Chemikalien, Durchführung sowie Auswertung. Dies entspricht grob dem Aufbau eines Versuchsprotokolls im Chemieunterricht. Lediglich die Beobachtung ist nicht als expliziter Abschnitt enthalten, um das Video zeitlich gesehen möglichst kurz zu halten, da die Aufmerksamkeitsspanne der Schüler*innen mit zunehmender Videodauer sinkt. Ebenfalls zur Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit der Zuschauer*innen wurde ein angemessener Wechsel an verschiedenen Kameraeinstellungen sowie Grafiken, Bildern, Texten und Animationen eingeplant. Zum Schluss des Videos wird auf eine Anwendungsmöglichkeit des Gases Wasserstoff hingewiesen und die Zuschauer*innen werden dazu angeregt, das gezeigte Experiment selbstständig durchzuführen sowie bei Interesse ein weiteres Video des Projektes Lab@Home anzusehen.

TC	Bild	Text/Kommentar/O-Ton/Info
04:48 - 04:56	animierter Übergang: "Auswertung" mit Wechsel zwischen Fragezeichen und Ausrufezeichen	Hintergrundmusik II
04:57 - 05:11	Totale (frontal) auf Glas mit Schaum; kurzzeitig Standbild bei Explosion;	Hintergrundmusik III, Ton der Explosion abspielen O-Ton: <i>Nun fragt ihr euch sicher: Wo kommt denn jetzt der Schaum her (kurzes Einblenden: Animation Pfeil "Schaum???) und warum explodiert er (kurzes Einblenden: Animation Pfeil "Explosion???)", sobald ich einen brennenden Holzstab daran halte? Diese Fragen wollen wir nun gemeinsam klären.</i>
05:12 - 06:04	Totale (frontal) auf Glas mit Essigessenz und Spülmittel; erneute Durchführung des Experiments;	Hintergrundmusik III O-Ton: <i>In unserem Glas befindet sich Essigessenz.</i> (kurzes Einblenden: Animation Pfeil "Essigessenz")

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Storyboard des Experimentes 5 – V1
(TC = Timecode; O-Ton = Originalton)

Schritt 2 – Videos & Animationen bereitstellen

Anschließend wurden die geplanten Szenen mithilfe eines Smartphones (Samsung Galaxy S10) aufgenommen und als MP4-Dateien gespeichert. Die Animationen wurden mit *Microsoft PowerPoint* erstellt (Abb. 3). Hierzu zählen die jeweiligen Abschnittsübergänge (Geräte und Chemikalien, Durchführung, Auswertung) sowie die Darstellungen der Wort- und Reaktionsgleichungen. Um die erstellten Animationen in der Videobearbeitungsanwendung *Shotcut* einbinden zu können, wurden die PowerPoint-Folien über die Exportfunktion zu Videos im MP4-Format konvertiert.

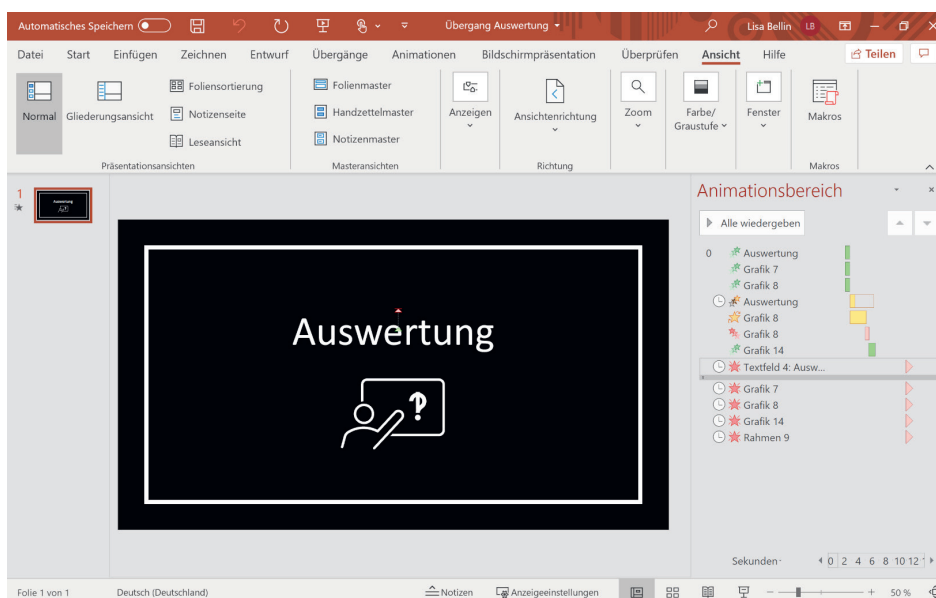


Abbildung 3: Auszug der Erstellung des animierten Übergangs „Auswertung“ mit *Microsoft PowerPoint*

Schritt 3 – Video- & Audibearbeitung in Shotcut

Im dritten Schritt wurden die gefilmten Szenen und die Videos der Animationen in *Shotcut* eingefügt und dem Storyboard entsprechend geschnitten. Weiterhin wurden über die enthaltenen Funktionen in *Shotcut* Übergangseffekte, verschiedene Zoom-Einstellungen, ein Split-Screen (geteilter Bildschirm) sowie Zeitlupe und Standbilder erzeugt. Im nächsten Schritt erfolgte eine Trennung der Film- und Audiospur. Da kein direkter Sprecher im Video zu sehen ist und die geplanten sprachlichen Erklärungen im Filmmaterial nicht enthalten waren, konnten störende Hintergrundgeräusche durch das Bearbeiten der Audiospur entfernt

werden. Die Sprecherstimme wurde nachträglich separat mit einer Diktier-App auf dem Smartphone aufgezeichnet, in *Shotcut* importiert und innerhalb der ersten Audiospur über die passende Szene gelegt. In einer zweiten Audiospur wurde zur musikalischen Untermalung des Videos verschiedene lizenzfreie Musik eingefügt. Im letzten Schritt der Videoproduktion wurden lizenzfreie Bilder und Grafiken sowie Texte über eine neue Filmspur in *Shotcut* mit verschiedenen Effekten eingearbeitet (Abb. 4).



Abbildung 4: Bildausschnitt aus dem Video zum Experiment 5 – V1 (TC 05:06), eingesetzte Effekte: Standbild und eingblendeter Pfeil mit Text.

Arbeitsblatt

Im Anschluss an die Videoproduktion erfolgte die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung und eines Arbeitsblatts zum gezeigten Experiment. Das Arbeitsblatt soll die Schüler*innen beim Homeschooling anleiten und kann von der Lehrkraft frei angepasst werden. Hierzu kann die Word-Datei von der Webseite heruntergeladen und digital am Computer bearbeitet werden. Die gestellten Aufgaben ermöglichen eine gezielte und systematische Auseinandersetzung mit dem Inhalt des Videos. Das ausgefüllte Arbeitsblatt können die Schüler*innen anschließend per E-Mail oder über das Lernmanagementsystem der Schule an die Lehrkraft zurücksenden.

5. Feedback zum Seminar

Zum Projektende wurden die Studierenden gebeten, in einer anonymen Umfrage ihr Feedback zum Projektseminar zu geben. 18 von 20 Studierenden kamen dieser Aufforderung nach (Tab. 2). Am häufigsten wurde von den Studierenden die enge fachdidaktische und technische Unterstützung durch die Dozenten positiv hervorgehoben. Aber auch der hohe Spaßfaktor und die angenehme Atmosphäre wurden mehrfach gelobt. Herausfordernd war für die Studierenden hingegen der enge zeitliche Rahmen, in dem das Projekt stattfand. Hierdurch bedingt konnte nicht vermieden werden, dass sich die Phasen des Projektes teilweise überschneiden und die Studierenden bereits mit dem Filmen beginnen mussten, obwohl die jeweiligen fachdidaktischen und technisch-filmerischen Inputs noch nicht vollständig abgehandelt waren. Einige wenige Studierende hatten zudem Probleme, Zugang zu einem für das Projekt brauchbaren Smartphone oder einem entsprechend leistungsfähigen Computer für die Videobearbeitung zu erhalten. Auch wurden die technischen Tutorials an den Mac-Versionen von *Microsoft PowerPoint* und *Shotcut* gezeigt. Studierende, die die Windows-Versionen verwendeten oder mit alternativen Tools arbeiteten, hatten zum Teil Probleme, die Inhalte nachzuvollziehen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der positiven und kritischen Bemerkungen der Studierenden zum Projektseminar Lab@Home inklusive Frequenzangabe (n = 18).

Positives Feedback	Kritisches Feedback
<ul style="list-style-type: none"> – technische Unterstützung (8 von 18) <ul style="list-style-type: none"> – Unterstützung durch den Filmexperten mit seiner fachlichen Kompetenz im Bereich Videodreh/-schnitt usw. – Erklärvideos und Beschreibungen zu PowerPoint und Videodreh/-schnitt/Shotcut, Aufzeichnungen über Zoom – Hoher Spaßfaktor (mehr praktisch statt theoretisch, viele Freiheiten, kreative Arbeit, Videobearbeitung) (6 von 18) – angenehme Atmosphäre, individuelle Unterstützung bei Problemen (gute Organisation), Projektleiter sehr motivierend/engagiert, schnelle Rückmeldungen (5 von 18) 	<ul style="list-style-type: none"> – großer Zeitaufwand, zeitlich eng im laufenden Semester, zu wenig Zeit (9 von 18) – Struktur des Projektablaufes (Überschneidung von Dreh und den fachdidaktischen/filmischen Inputs, mehr Zeit für Videoproduktion einplanen, teilweise unstrukturiert) (5 von 18) – fehlendes Equipment, unterschiedliche technische Voraussetzungen (2 von 18) – Erklärungen lediglich für Mac/Apple (nicht Microsoft/Windows) bzw. lediglich für PowerPoint, nicht andere Programme z.B. Open-Source-Varianten (2 von 18)

Da von den Studierenden verlangt wurde, auch außerhalb der Seminarzeit an dem Projekt zu arbeiten, wurde in der Umfrage ebenfalls erhoben, wie viel Zeit die Studierenden für das Filmen und die Videobearbeitung insgesamt aufwendeten (Abb. 5). Die Ergebnisse zeigen, dass die Studierenden für die Filmaufnahmen mit 2 bis über 10 Stunden etwa ein bis zwei Arbeitstage benötigten. Die Videobearbeitung hingegen nahm mit 10 bis über 30 Stunden deutlich mehr Zeit in Anspruch. Dies wurde zuvor in der Planung des Seminars nicht ausreichend berücksichtigt.

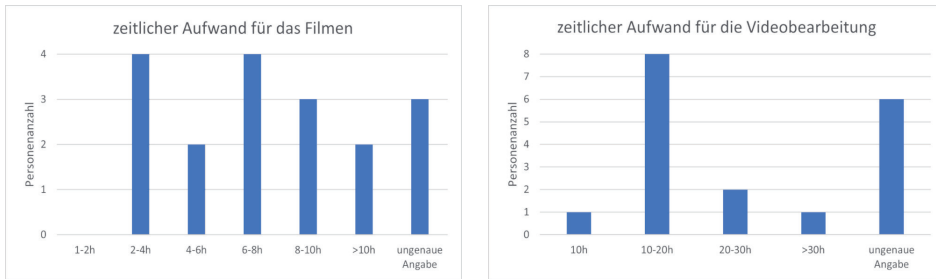


Abbildung 5: Angabe der Studierenden (n = 18) über den zeitlichen Aufwand für das Filmen (links) und die Videobearbeitung (rechts)

6. Fazit und Ausblick

Das Projektseminar war für die Studierenden und die Dozierenden ohne Zweifel herausfordernd und verlangte ihnen sehr viel ab. Die (meisten) Studierenden arbeiteten dennoch mit großem Engagement und viel Freude an dem Projekt mit – und das, obwohl das „Corona-Semester“ ohnehin belastend war. Der Aufwand hat sich aber in vielerlei Hinsicht gelohnt. Denn die Studierenden lernten mit der Produktion von eigenen Erklärvideos eine innovative Methode für ihren späteren Unterricht kennen. Viele Aspekte der Unterrichtsplanung finden sich zudem auch in der Planung eines Erklärvideos wieder. So lässt sich etwa das Storyboard gut mit einem Verlaufsplan vergleichen. Beim Filmen von Experimenten müssen ähnliche Aspekte berücksichtigt werden wie beim Demonstrieren von Experimenten im Unterricht (z. B. Effekt-Verstärkung durch Einsatz von Kontrastwänden). Ebenfalls muss im Erklärvideo auch auf eine korrekte Fachsprache geachtet werden und nicht zuletzt sollte die Erklärung von hoher Qualität sein, egal ob im Film oder im Unterricht.

Inwiefern die Lab@Home-Materialien tatsächlich im (Distanz-)Unterricht eingesetzt wurden bzw. werden, kann aktuell nicht beurteilt werden. Die Zugriffszahlen auf die Projektwebseite (7.315 Zugriffe, Stand 21.05.2021) sind jedoch erfreulich und einige wenige Lehrkräfte und Dozierende haben sich per E-Mail lobend über das Projekt geäußert. Es ist geplant, das Projekt Lab@Home weiterzuführen und das Projektseminar anhand der gewonnenen Erkenntnisse zu überarbeiten und neu zu implementieren.

Die Autor*innen bedanken sich herzlich bei Wolfgang Bausch für die großartige Unterstützung rund um das Thema Film und für die gewinnbringende Videoschulung.

Literatur

- Banerji, A. (2017). *Leitfaden zur Gestaltung von Animationen mit PowerPoint*. <https://banerji-lab.com/wp-content/uploads/2021/02/PPT-Animationen.pdf>
- Blume, R. (2008). *Prof. Blumes Tipp des Monats September 2001 (Tipp-Nr. 51)*. https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/09_01.htm
- DIPF – Leibniz Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation. (o.D.). *OERInfo – Informationsstelle Open Educational Resources*. <https://open-educational-resources.de>
- Dorgerloh, S. & Wolf, K. D. (Hrsg.). (2020). *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos*. Weinheim Basel: Beltz.
- Fleischer, T. & Nerdel, C. (2017). Lernvideos in der Chemiedidaktik – der Zusammenhang von Stoff und Teilchenebene. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 207–219). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Huwer, J. & Banerji, A. (2020). Corona sei Dank?! – Digitalisierung im Chemieunterricht. *CHEMKON*, 27(3), 105–106. <https://doi.org/10.1002/ckon.202000037>
- Krause, M. & Eilks, I. (2020). Lernen durch Erstellen von Stop-Motion-Videos – Strategien aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht. In S. Dorgerloh & K. D. Wolf (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos* (S. 163–170). Weinheim: Beltz.
- Kulgemeyer, C. (2018). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht*, 109, 8–11.
- Kulgemeyer, C. (2020). A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. *Research in Science Education*, 50(6), 2441–2462. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11165-018-9787-7>
- Kultusministerkonferenz [KMK]. (2019). *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU). Empfehlung der Kultusministerkonferenz. Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 14. Juni 2019*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf
- Rummler, K. (2017). Lernen mit Online-Videos – Eine Einführung. *Medienimpulse*, 55(2), 1–27. <https://doi.org/10.21243/mi-02-17-09>
- Wolf, K. D. (2015). Bildungspotenziale von Erklärvideos und Tutorials auf YouTube: Audio-Visuelle Enzyklopädie, adressatengerechtes Bildungsfernsehen, Lehr-Lern-Strategie oder partizipative Peer Education? *Merz – Medien + Erziehung*, 59(1), 30–36.
- Wolf, K. D. (Hrsg.). (2018a). Lernen mit Videos. *Computer + Unterricht*, 109.
- Wolf, K. D. (2018b). Video statt Lehrkraft? Erklärvideos als didaktisches Element im Unterricht. *Computer + Unterricht*, 109, 4–7.
- Wolf, K. D. & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 27(152), 36–41.

Autorinnen und Autoren

Hilko Aljets

Hilko Aljets begann 2020 seine Promotion in der Chemiedidaktik an der Georg-August-Universität Göttingen. Er arbeitet an digitalen Medien und Methoden zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses.

E-Mail: hilko.aljets@uni-goettingen.de

Prof. Dr. Amitabh Banerji

Amitabh Banerji ist Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Potsdam. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Digitalisierung in den Naturwissenschaften und die Curriculare Innovation.

E-Mail: abanerji@uni-potsdam.de

<http://banerji-lab.com/>

Heiko Barth

Heiko Barth ist technischer Angestellter am Institut für Didaktik der Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen. Sein Schwerpunkt liegt auf der Digitalisierung chemischer Schulexperimente.

E-Mail: heiko.barth@dc.jlug.de

www.uni-giessen.de/dc

Dr. Sebastian Becker

Sebastian Becker ist Postdoc in der AG Didaktik der Physik an der TU Kaiserslautern. Er erforscht die Wirksamkeit digital gestützten Physikunterrichts und Lernprozesse mittels Eyetracking.

E-Mail: s.becker@physik.uni-kl.de

<https://www.physik.uni-kl.de/kuhn/mitarbeiterinnen/becker/>

Lisa Bellin

Lisa Bellin ist Masterstudentin an der Universität Potsdam. Sie studiert Lehramt für Chemie und Geographie. Zudem ist sie als wissenschaftliche Hilfskraft im Arbeitskreis Didaktik der Chemie tätig.

E-Mail: lbellin@uni-potsdam.de

Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde

Claudia Bohrmann-Linde ist Professorin für Didaktik der Chemie an der Bergischen Universität Wuppertal. Sie betreibt curriculare Innovationsforschung unter Einbezug von Digitalisierung und BNE.

E-Mail: bohrmann@uni-wuppertal.de

<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/>

Dr. Ute Brinkmann

Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Fachdidaktik Chemie an der TU Darmstadt; zuvor tätig in der industriellen Forschung und Entwicklung im Bereich Women's Health.

E-Mail: ute.brinkmann@tu-darmstadt.de

www.disensu.de

Prof. Dr. Till Bruckermann

Till Bruckermann ist Universitätsprofessor am Institut für Erziehungswissenschaft der Leibniz Universität Hannover. Er befasst sich mit digitalen Medien in informellen Lernkontexten.

E-Mail: till.bruckermann@iew.uni-hannover.de

<https://www.iew.uni-hannover.de/de/bruckermann/>

Valerie Czok

Akademische Mitarbeiterin der Pädagogischen Hochschule Weingarten im Fachbereich Biologie. PhD-Studentin im Projekt ARTiste (Augmented Reality Teaching in Science Technology Education)

E-Mail: valerie.czok@ph-weingarten.de

<https://biologie.ph-weingarten.de/das-fach/lehrende/czok/>

Alexander Finger

Alexander Finger ist Mitarbeiter in der AG Biologiedidaktik an der Universität Leipzig. Er forscht zum Einsatz digitaler Medien bei der Pflanzenbestimmung und Digitalisierung in der Lehrerbildung.

E-Mail: alexander.finger@uni-leipzig.de

<https://www.lw.uni-leipzig.de/biodidaktik/mitarbeiter/finger.html>

Rebecca Grandrath

Rebecca Grandrath ist Doktorandin im Arbeitskreis Didaktik der Chemie an der Universität Wuppertal. Sie arbeitet zu Themen nachhaltiger Energieumwandlung, wie etwa biologischen Brennstoffzellen.

E-Mail: grandrath@uni-wuppertal.de

<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/>

Prof. Dr. Nicole Graulich

Nicole Graulich ist Professorin für Chemiedidaktik am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Ihr Forschungsschwerpunkt ist das Lernen und Lehren der Organischen Chemie an der Hochschule.

E-Mail: nicole.graulich@dc.jlug.de

www.uni-giessen.de/dc

Lukas Groos

Lukas Groos ist Doktorand am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Sein Forschungsschwerpunkt ist die digitale und interaktive Aufbereitung chemischer Experimente.

E-Mail: lukas.groos@dc.jlug.de

www.uni-giessen.de/dc

Prof. Dr. Johannes Huwer

Johannes Huwer ist Universitätsprofessor für die Fachdidaktik der Naturwissenschaften im Fachbereich Chemie der Universität Konstanz und Brückenprofessor der Pädagogischen Hochschule Thurgau (Schweiz). Er forscht im Bereich der Digitalisierung und der BNE.

E-Mail: johannes.huwer@uni-konstanz.de

<https://www.chemie.uni-konstanz.de/ag-huwer/>

Prof. Dr. Christopher W. M. Kay

Christopher W. M. Kay ist Universitätsprofessor für Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie an der Universität des Saarlandes. Er beschäftigt sich u. a. mit neuen Lehr-Lernkonzepten in der universitären Bildung.

E-Mail: christopher.kay@uni-saarland.de

<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay.html>

Dr. Liz Keiner

Liz Keiner hat am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen im Januar 2021 promoviert. Sie hat im Mai 2021 ihr Referendariat angetreten.

E-Mail: liz.keiner@dc.jlug.de

www.uni-giessen.de/dc

Mats Kieserling

Mats Kieserling studierte die Fächer Chemie und Sport für das Lehramt an Gymnasien an der TU Dortmund. Er ist Doktorand im Arbeitskreis von Prof. Dr. Insa Melle.

E-Mail: mats.kieserling@tu-dortmund.de

Erik Kremser

Erik Kremser ist Mitarbeiter am Fachbereich Physik der TU Darmstadt und leitet ein Forschungsprojekt zur Integration digitaler Kompetenzen in die Lehramtsstudiengänge Physik.

E-Mail: erik.kremser@physik.tu-darmstadt.de

https://www.physik.tu-darmstadt.de/study/vorlesungsassistentz_1/vvp_1/mitarbeiter_details_1410.de.jsp

Manuel Krug

Akademischer Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Huwer im Fachbereich Chemie der Universität Konstanz. PhD-Student im Projekt ARTiste (Augmented Reality Teaching in Science Technology Education)

E-Mail: manuel.krug@uni-konstanz.de

<https://www.chemie.uni-konstanz.de/ag-huwer/personen/wissenschaftliche-mitarbeiterinnen/manuel-krug/>

Vanessa Lang

Als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Didaktik der Chemie an der Universität des Saarlandes forscht Vanessa Lang zur Förderung der Modellkompetenz beim Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht.

E-Mail: vanessa.lang@uni-saarland.de

<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-chemiedidaktik.html>

Jun.-Prof. Dr. Sarah Lukas

Sarah Lukas ist Juniorprofessorin für Psychologie an der Pädagogischen Hochschule Weingarten. Ihre Forschungsthemen umfassen u. a. Medienkompetenzen in der Lehrerbildung, Lernen in innovativen Lernumgebungen, kognitive Mechanismen der Handlungsplanung und des Zweitspracherwerb sowie Schreib- und Lesekompetenz.

E-Mail: lukas@ph-weingarten.de

<https://www.phwg-forschung.de/profil.php?fdb=1&info=LUKAS&usersprache=D>

Dr. Monique Meier

Monique Meier leitet die AG DiLL im Fachgebiet Didaktik der Biologie an der Universität Kassel. Sie fokussiert u. a. auf den Einsatz digitaler Medien in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.

E-Mail: monique.meier@uni-kassel.de

<https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/biologie/fachgebiete/didaktik-der-biologie/ag-digitales-lehren-und-lernen-im-biologieunterricht.html>

Prof. Dr. Insa Melle

Prof. Dr. Insa Melle ist seit 1999 an der TU Dortmund tätig. Ihr Forschungsinteresse gilt u. a. der Wirkung digitaler Lernumgebungen im Chemieunterricht und in der universitären Chemieausbildung.

E-Mail: insa.melle@tu-dortmund.de

<https://ccb.tu-dortmund.de/melle>

Prof. Dr. Wolfgang Müller

Professor im Fachbereich Mediendidaktik der Pädagogischen Hochschule Weingarten und Prorektor für Forschung.

E-Mail: muellerw@ph-weingarten.de

Prof. Dr. Markus Prechtel

Professor für Fachdidaktik Chemie an der TU Darmstadt; zuvor Hochschullehrer in Weingarten, Darmstadt, Hannover und Siegen; ehemaliger Lehrer. Fokusse: Gender@Chemieunterricht und Visual Literacy.

E-Mail: markus.prechtel@tu-darmstadt.de

https://www.chemie.tu-darmstadt.de/prechtel/fachdidaktik_chemie/

Christof Probst

Christof Probst ist Lehrer für Chemie, Technik und Theologie in Baden-Württemberg und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der AG Huwer an der Universität Konstanz und an der PH Thurgau. Im Rahmen seiner Promotion beschäftigt er sich mit der Förderung von selbstregulierten Lernarrangements im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe 1 durch digitale Medien.

E-Mail: probstc@ph-weingarten.de

<https://www.chemie.uni-konstanz.de/ag-huwer/>

Dr. Hanne Rautenstrauch

Hanne Rautenstrauch ist wiss. Mitarbeiterin in der Abteilung Chemie und ihre Didaktik der Universität Flensburg. Sie beschäftigt sich mit fachfremdem Unterrichten, forschendem Lernen und digitalen Medien.

E-Mail: hanne.rautenstrauch@uni-flensburg.de

www.uni-flensburg.de/chemie

Johann Seibert

Als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Didaktik der Chemie an der Universität des Saarlandes untersucht Johann Seibert die Wirksamkeit digitaler Lernbegleiter und Lernwerkzeuge auf die Selbstregulation beim Forschenden Lernen im Chemieunterricht.

E-Mail: johann.seibert@uni-saarland.de

<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-chemiedidaktik.html>

Ulla Stubbe

Doktorandin der Fachdidaktik Chemie an der TU Darmstadt; Master-Abschluss (M.Sc.) in Psychologie; Dip.-Ing. Informationstechnik (BA) und ehemalige Angestellte der Deutschen Flugsicherung GmbH.

E-Mail: ulla.stubbe@tu-darmstadt.de

www.disensu.de

Dr. Lars-Jochen Thoms

Lars-Jochen Thoms ist Postdoc am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Dort arbeitet er zu digitalen Kompetenzen von Lehrkräften für den Physikunterricht.

E-Mail: l.thoms@lmu.de

https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/die_arbeitsgruppe/personen/lars_thoms/index.html

Prof. Dr. Christoph Thyssen

Christoph Thyssen leitet die AG Fachdidaktik Biologie an der TU Kaiserslautern. Er fokussiert digitale Medien, ihre Wirksamkeit und korrespondierende Kompetenzen bei Studierenden und Lehrkräften.

E-Mail: thyssen@rhrk.uni-kl.de

<http://www.fdbio-tukl.de>

Ass.-Prof. Dr. Lena von Kotzebue

Lena v. Kotzebue leitet die AG Biologiedidaktik der Universität Salzburg. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich des Professionswissens von Biologielehrkräften zum Umgang mit digitalen Medien.

E-Mail: lena.vonkotzebue@sbg.ac.at

<https://www.uni-salzburg.at/index.php?id=211970>

Sabrina Syskowski

Sabrina Syskowski ist Doktorandin am Institut für Chemie der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe. Sie arbeitet zu Themen der Lehr-Lern-Forschung. Hierbei entwickelt und untersucht sie diese Settings.

E-Mail: syskowski@ph-karlsruhe.de

Prof. Dr. Thomas Waitz

Thomas Waitz ist seit 2009 Professor für Chemiedidaktik an der Universität Göttingen und leitet das dortige Experimentallabor für Junge Leute – XLAB.

E-Mail: twaitz@gwdg.de

Prof. Dr. Holger Weitzel

Professor im Fachbereich Biologie der Pädagogischen Hochschule Weingarten.

E-Mail: weitzel@ph-weingarten.de

<https://biologie.ph-weingarten.de/das-fach/lehrende/weitzel/>

Dennis Wendt

Dennis Wendt studiert u. a. Chemie für das Lehramt in der Sekundarstufe I an der Pädagogischen Hochschule Weingarten. In seiner BA-Arbeit befasste er sich mit der Animation des Schalenmodells der ersten 18 Elemente des Periodensystems.

Julia Werthmüller

Julia Werthmüller ist Doktorandin in der Fachdidaktik Chemie an der TU Darmstadt. Sie hat das Lehramt für die Fächer Chemie und Biologie an der TU Darmstadt studiert. Fokus: mediendidaktische Aspekte des Chemieunterrichts.

E-Mail: julia.werthmueller@tu-darmstadt.de

Dr. Diana Zeller

Diana Zeller ist akademische Rätin am Lehrstuhl Chemiedidaktik der Universität Wuppertal und habilitiert zur Erschließung innovativer Themen der Chemie unter Einsatz digitaler Medien.

E-Mail: zeller@uni-wuppertal.de

<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/>

Marcus Kubsch, Stefan Sorge,
Julia Arnold, Nicole Graulich
(Hrsg.)

Lehrkräftebildung neu gedacht

Ein Praxishandbuch
für die Lehre in den
Naturwissenschaften
und deren Didaktiken

2021, 268 Seiten, br., 29,90 €,
ISBN 978-3-8309-4349-5
E-Book: Open Access



Die Lehrkräftebildung in den Naturwissenschaften hat die Aufgabe, die angehenden Lehrkräfte der Biologie, Chemie und Physik auf die Gestaltung des Unterrichts der Zukunft vorzubereiten. Dabei wurden in den letzten Jahren verstärkt neue Lehr-Lern-Formate, Technologien und Methoden an einzelnen Hochschulstandorten entwickelt, um dieser Herausforderung gerecht zu werden. Dieses Buch gibt einen praxisbezogenen Einblick in Innovationen der Lehrkräftebildung in den Naturwissenschaften und macht sie damit auch für den Einsatz an weiteren deutschsprachigen Hochschulen zugänglich. Dazu präsentieren die Autorinnen und Autoren von über 30 Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz neue Ansätze zu Unterstützungsmöglichkeiten der Kompetenzentwicklung, zum Einsatz von Medien und zur Förderung der Planung und Reflexion von Unterricht. Unterstützt wird dies durch umfassende Onlinematerialien, was die Nutzung an anderen Hochschulstandorten begünstigen und damit die Weiterentwicklung der Lehrkräftebildung in den Naturwissenschaften insgesamt fördern soll.

WAXMANN

www.waxmann.com
info@waxmann.com